



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**ANALISA KEGAGALAN POROS POMPA  
CENTRIFUGAL MULTISTAGE (GA101A) SUB-  
UNIT SINTESA - UREA PT. PETROKIMIA GRESIK**

**ANGGA SETIAWAN  
NRP 2114 105 018**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**PROGRAM SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2016**



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**FAILURE ANALYSIS OF CENTRIFUGAL  
MULTISTAGE (GA101A) PUMP'S SHAFT IN  
SUB UNIT SYNTHESIS - UREA PLANT PT.  
PETROKIMIA GRESIK**

**ANGGA SETIAWAN  
NRP 2114 105 018**

**Academic Advisor  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**BACHELOR DEGREE PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA KEGAGALAN POROS POMPA CENTRIFUGAL MULTISTAGE (GA101A) SUB-UNIT SINTESA – UREA PT. PETROKIMIA GRESIK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Pada

Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Angga Setiawan

NRP : 2114 105 018

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc  
(NIP. 19630314 198803 1 002) ..... (Pembimbing)
2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.  
(NIP. 19740703 200003 1 001) ..... (Penguji 1)
3. Indra Sidharta, ST., M.Sc.  
(NIP. 19800619 200604 1 004) ..... (Penguji 2)
4. Arif Wahyudi, ST., MT., PhD  
(NIP. 19730322 200112 1 001) ..... (Penguji 3)

**SURABAYA 2016**

# **ANALISA KEGAGALAN POROS POMPA CENTRIFUGAL MULTISTAGE (GA101A) SUB-UNIT SINTESA – UREA PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Angga Setiawan  
**NRP** : 2114 105 018  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

## **ABSTRAK**

*Amonia Feed Pump* GA101A merupakan pompa jenis *centrifugal multistage* dan merupakan salah satu *critical equipment* pada pabrik urea PT. Petrokimia Gresik. Kegagalan yang terjadi pada pompa GA101A adalah patahnya poros (*shaft fracture*). Pemicu patahnya poros adalah modifikasi geometri ring dan poros yang menyebabkan perubahan *clearance* serta penggantian material ring dari *stainless steel* 410 menjadi 304. Disisi lain, *thermal expansion* material yang terjadi antara ring dan poros melampaui batas *clearance* yang ada, ditambah dengan adanya vibrasi berlebih yang membuat poros dan ring bergesekan dan menyebabkan temperature sekitar meningkat, sehingga menyebabkan ring mengunci (*locking*) poros pada saat beroperasi.

Patah poros pompa dianalisa dengan melalui beberapa tahapan, yaitu pengamatan pola patahan secara makroskopis, melakukan pemodelan menggunakan program CAD, kemudian melakukan analisa *thermal expansion* menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Analisa *thermal expansion* yang dilakukan yakni dengan membandingkan material ring sebelum dan sesudah modifikasi serta mengetahui *thermal expansion* yang terjadi pada poros. Setelah itu, dihitung sisa *clearance* yang ada dengan adanya pemuai material poros dan ring.

Dari analisa didapatkan mekanisme yang menyebabkan poros pompa GA101A patah, yaitu vibrasi tinggi pada pompa yang menaikkan temperatur ring dan melebihi tempeartur kerja pompa. Saat suhu mencapai sekitar 200°C, gesekan akan semakin besar

bahkan menurut spektrum warna pada poros, suhu mencapai sekitar 1227°C sebelum poros putus. Temperatur akibat gesekan menyebabkan ekspansi material kedua komponen, sehingga ring mengunci poros hingga akhirnya patah. Langkah preventif dari hasil analisa adalah memperbesar *clearance* poros-ring sebesar 0.40mm tanpa mengganti jenis material, yakni *stainless steel* 304, sedangkan jika dengan material 410 *clearance* minimal yang dibutuhkan adalah sebesar 0.35mm

**Kata Kunci :** *Centrifugal Multistage Pump, Finite Element Analysis, Thermal Expansion*

# **FAILURE ANALYSIS OF CENTRIFUGAL MULTISTAGE (GA101A) PUMP'S SHAFT IN SUB UNIT SYNTHESIS – UREA PLANT PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Name of Student** : Angga Setiawan  
**NRP** : 2114 105 018  
**Departement** : Mechanical Engineering  
**Lecturer** : Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

## **ABSTRACT**

Ammonia Feed Pump GA101A is a centrifugal multistage pump and one of the critical equipment in urea plant PT. Petrokimia Gresik. Failure that occurs on GA101A pump is shaft fracture. Geometry modification on ring and shaft influenced shaft fracture and affected clearance changing, also material on ring was changed from stainless steel 410 to 304. On the other hand, material thermal expansion between ring and shaft overreached the existing clearance, coupled with excessive vibration which made shaft and ring on friction and caused temperature around rising. As a result, locking ring on shaft occurred.

Pump shaft fracture is analyzed through several stages, namely macroscopic analysis on fracture pattern, modelling on CAD software, thermal expansion analysis using Finite element analysis (FEA). Thermal expansion analysis is done by comparing the ring material before and after modification as well as determine the thermal expansion that occurs on the shaft. After that, the rest of existing clearance is calculated by thermal expansion of the shaft and the ring material.

The analysis found that the mechanism that cause shaft fracture on GA101A pump shaft is high vibration on pump that rise the temperature on ring and shaft area which is beyond the working pump temperature. When the temperature reached around 200°C, friction would be greater and according to the spectrum that

identified on shaft, the temperature reached 1227 °C before shaft fracture. Friction temperature cause material thermal expansion on both component, then locking ring on shaft occurred before shaft fracture. Preventive action that needs to take according to the analysis is enlarging the amount of clearance between ring and shaft to 0.40mm without changing the type of material, namely stainless steel 304 or using material 410 with minimum clearance 0.35mm.

***Key words :*** *Centrifugal Multistage Pump, Finite Element Analysis, Thermal Expansion*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Proses Urea PT. Petrokimia Gresik.....	7
2.2 Pembebanan pada Poros Pompa .....	8
2.3 Failure Analysis .....	9
2.4 Identifikasi Jenis Kegagalan .....	11
2.5 Kegagalan pada poros Pompa .....	11
2.5.1 Patah ulet ( <i>Ductile fracture</i> ) .....	12
2.5.2 Patah getas ( <i>Brittle fracture</i> ).....	13
2.5.3 Patah lelah ( <i>Fatigue fracture</i> ).....	13
2.5.4 Retak korosi tegangan ( <i>Stress corrosion cracking</i> ).....	15
2.5.5 Penggetasan ( <i>Embrittlement</i> ).....	16
2.5.6 Mulur ( <i>Creep</i> ) dan <i>Stress rupture</i> .....	16
2.6 Teori <i>Finite Element</i> .....	17
2.7 Penelitian Terdahulu .....	18
2.7.1 Analisa Kerusakan <i>Wobbler Bar</i> PT. Semen Gresik .....	18



2.7.2 Analisa Kerusakan <i>Shaft Stainless Steel</i> 17-4 PH pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Amoniak PT. Petrokimia Gresik .....	20
2.7.3 <i>Finite Element Analysis of Shaft of Centrifugal Pump</i> .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Spesifikasi Pompa GA101A .....	25
3.2 Alur Penelitian .....	26
3.3 Langkah-langkah <i>Finite Element Analysis (FEA)</i> .....	29
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Data Awal Kerusakan .....	29
4.2 Spesifikasi Material .....	35
4.3 Boundary Condition <i>Finite Element Analysis</i> .....	36
4.4 Hasil <i>Finite Element Analysis</i> .....	38
4.4.1 Thermal Load pada Poros .....	38
4.4.2 Thermal Load pada Ring .....	40
4.4.2.1 Ekspansi pada Ring dengan Material Stainless Steel 304 .....	41
4.4.2.2 Ekspansi pada Ring dengan Material Stainless Steel 410 .....	43
4.5 Pembahasan .....	44
4.6 Solusi dan Rekomendasi .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	51
<b>LAMPIRAN</b> .....	52

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Cross Sectional Drawing Amonia Feed Pump GA101A.....	2
<b>Gambar 1.2.</b> (a) Patahan Poros pada sisi impeller (b) Patahan pada sisi outboard.....	3
<b>Gambar 1.3</b> Fatigue Fracture akibat Torsi .....	4
<b>Gambar 2.1</b> Process Flow Urea .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Blok Diagram Sub-unit sintesa .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Blok diagram Sub-unit sintesa 1 .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Konsentrasi Tegangan pada Pompa .....	9
<b>Gambar 2.5</b> (a) Mekanisme Ductile Fracture (b) Contoh Ductile Fracture .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Perbandingan Patahan (a) Brittle Fracture (b) Ductile Fracture (c) Completely Ductile Fracture ..	13
<b>Gambar 2.7</b> Skematik <i>Fatigue Fracture</i> .....	15
<b>Gambar 2.8</b> <i>Stress Corrosion Cracking</i> .....	15
<b>Gambar 2.9</b> <i>SEM Micrography of Hydrogen Embrittlement</i> .....	16
<b>Gambar 2.10</b> Pola Patahan Wobbler bar .....	19
<b>Gambar 2.11</b> Besar dan posisi tegangan setelah modifikasi.....	19
<b>Gambar 2.12</b> Letak Patahan Poros.....	20
<b>Gambar 2.13</b> Awal Terjadinya Retakan.....	20
<b>Gambar 2.14</b> CAD Drawing on Shaft.....	22
<b>Gambar 2.15</b> Dynamic deflection .....	22
<b>Gambar 2.16</b> Deflection and stress graph .....	23
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Peneltian .....	28
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Finite Element Analysis .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Lokasi Patahan Poros.....	31
<b>Gambar 4.2</b> (a) Poros yang putus, (b) Penampang Patahan Poros Sisi A (c) Penampang Patahan Poros Sisi B .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Potongan Joint Shaft, Ring dan Barrel Cover .....	32
<b>Gambar 4.4</b> (a) Ring Sebelum Modifikasi (b) Setelah modifikasi .....	33
<b>Gambar 4.5</b> Spektrum Warna pada Poros.....	34
<b>Gambar 4.6</b> <i>Kelvin Temperature Chart</i> .....	34

<b>Gambar 4.7</b> <i>Fixed support ring</i> .....	36
<b>Gambar 4.8</b> <i>Fixed Support</i> pada Poros .....	37
<b>Gambar 4.9</b> <i>Thermal Condition</i> pada Ring.....	37
<b>Gambar 4.10</b> <i>Thermal Condition</i> pada Poros .....	38
<b>Gambar 4.11</b> Directional Deformation pada Poros.....	39
<b>Gambar 4.12</b> Detail Ekspansi Thermal pada Joint Ring dengan Temperature akhir 100°C.....	39
<b>Gambar 4.13</b> Detail Ekspansi Thermal pada Joint Ring dengan Temperature Akhir 200°C.....	40
<b>Gambar 4.14</b> Directional Deformation pada Ring .....	41
<b>Gambar 4.15</b> Ekspansi Thermal Inner Ring SS 304 Pada Temperature Akhir 100°C.....	41
<b>Gambar 4.16</b> Ekspansi Thermal Inner Ring SS 304 Pada Temperature Akhir 200°C.....	42
<b>Gambar 4.17</b> Ekspansi Thermal Inner Ring SS 410 Pada Temperature Akhir 100°C.....	43
<b>Gambar 4.18</b> Ekspansi Thermal Inner Ring SS 410 Pada Temperature Akhir 200°C.....	44
<b>Gambar 4.19</b> Ilustrasi <i>thermal expansion</i> komponen ring dan poros .....	45
<b>Gambar 4.20</b> <i>Modal Analysis</i> pada Poros .....	46
<b>Gambar 4.21</b> Titik Pengambilan Data Vibrasi Pompa.....	46
<b>Gambar 4.22</b> <i>Vibration Chart</i> ISO 10816-3 .....	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Pompa Ammonia GA101A .....	25
<b>Tabel 4.1</b> Physical and Mechanical Properties SS 410 H.....	35
<b>Tabel 4.2</b> Physical and Mechanical Properties SS 304.....	35
<b>Tabel 4.3</b> Data Ekspansi Poros pada Temperature akhir 100°C .	39
<b>Tabel 4.4</b> Data Ekspansi Poros pada Temperature akhir 200°C .	40
<b>Tabel 4.5</b> Data Vibrasi Pompa Pada titik 4.....	47

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar belakang**

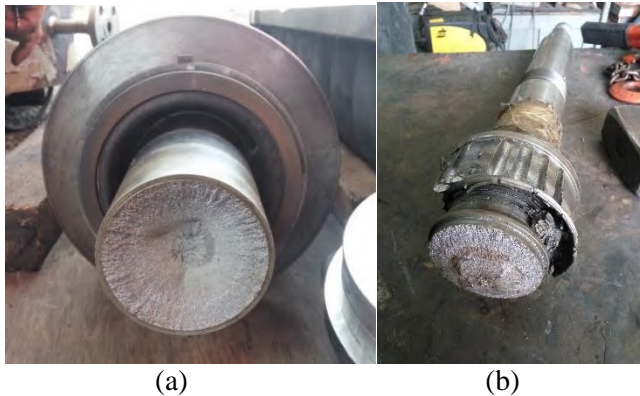
PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan pupuk terbesar di Indonesia yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Untuk menunjang produksi, secara keseluruhan PT. Petrokimia Gresik terbagi menjadi tiga pabrik, yakni Pabrik 1 memproduksi amoniak, urea dan ZA, Pabrik 2 memproduksi pupuk fosfat dan phonska serta Pabrik 3 yang memproduksi kalium sulfat, asam sulfat dan asam fosfat. Pabrik 1 memiliki peran penting secara keseluruhan, karena beberapa hasil produksinya merupakan bahan baku proses di pabrik 2 dan 3.

Produksi urea di Pabrik 1 memiliki kapasitas sebesar 1400 tons per hari atau lebih tepatnya 460.000 tons dalam setahun. Dalam proses produksinya, perusahaan sering menghadapi berbagai permasalahan teknis terkait dengan perawatan peralatan, baik *static* maupun *rotating equipment*. Perusahaan telah menerapkan metode perawatan preventif dan prediktif yakni terlihat dengan adanya jadwal perawatan ringan dan berat serta pengecekan vibrasi secara berkala yang dilakukan oleh Departemen Pemeliharaan dan Inspeksi Teknik. Namun metode perawatan yang ada dinilai masih belum optimal karena kegagalan yang terjadi pada peralatan tidak pernah dilakukan studi lebih lanjut untuk diketahui akar penyebab kerusakan, sehingga kerusakan yang sama tidak dapat diantisipasi.

*Amonia Feed Pump* GA 101A merupakan salah satu *critical equipment*, yakni apabila pompa tersebut mengalami *breakdown*, maka produksi tidak dapat terjadi. Pompa GA101A sendiri merupakan pompa jenis *centrifugal multistage*. Sesuai dengan teori, pompa *multistage* memiliki *head* yang tinggi yang dibutuhkan pada proses *feeding* amonia ke reaktor, dimana pada sisi *suction* pompa GA101A ini terhubung langsung dengan sisi *discharge* *Amonia Boost Pump* GA103. Pompa GA101A memiliki konstruksi yang rumit, seperti ditunjukkan gambar 1.1, sehingga



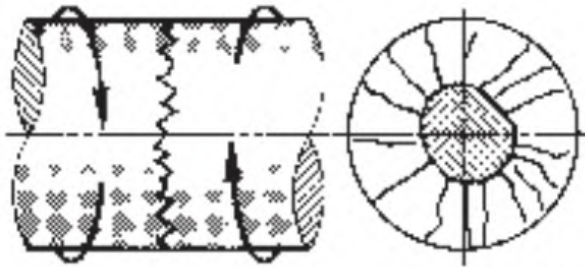
Kegagalan yang terjadi pada pompa GA101A adalah patahnya poros (*shaft fracture*) pada tanggal 29 Februari 2016, pada hari pertama pompa beroperasi setelah *Turn Around* (TA). Indikasi awal adalah terjadinya kenaikan trend vibrasi pada bagian *bearing outboard* sejak bulan November 2015, dan atas saran dari Departement Inspeksi Teknik dilakukan *re-alignment* dan menyesuaikan putaran operasionalnya, sehingga mampu bertahan hingga proses TA. Saat proses TA selesai, pompa GA101A dioperasikan untuk proses *feeding*, namun pompa hanya mampu beroperasi selama 11 jam, yakni mulai pukul 08.00 WIB hingga pukul 19.00 WIB pompa dinyatakan macet. Pengamatan awal yang dilakukan, yakni secara visual dari hasil patahan yang ditunjukkan pada gambar 1.2, menunjukkan bahwa letak *shaft fracture* pada bagian *balance sleeve* yang juga ter-*assembling* dengan *stage piece-balance sleeve*. Kondisi *stage piece-balance sleeve* terkikis lebih dari separuh dan lengket dengan *balance sleeve*.



Gambar 1.2. (a) Patahan Poros pada sisi impeller  
(b) Patahan pada sisi outboard

Hipotesa yang dilakukan oleh mekanik di lapangan, pompa diduga kehilangan *flow* pada sisi *suction* karena hasil kerusakan pompa menunjukkan bahwa bagian discharge mendorong ke sisi kopling atau sisi *suction* akibat gaya yang tidak

berimbang. Dugaan tersebut dinilai masih lemah karena hipotesa tersebut belum mengarah pada akar permasalahan. Mengacu pada gambar 1.3 tentang skematis permukaan patahan, dapat dibandingkan dengan keadaan di lapangan bahwa patah yang terjadi pada poros pompa GA101A adalah karena patah lelah (*fatigue fracture*). Patah lelah yang terjadi adalah akibat beban dinamis yang terjadi pada pompa, yakni *torsion*. Akan tetapi, letak dari patahan berada pada *outboard*, dimana tidak berhubungan langsung dengan couple steam turbine, sehingga diperkirakan memiliki faktor lain. Faktor lain yang memungkinkan adalah terjadinya thermal expansion material poros dan ring di sekitar patahan. *Clearance* yang tidak mencukupi untuk ruang muai material menyebabkan ring mengunci poros pada saat beroperasi dan berakibat patah.



Gambar 1.3 Fatigue Fracture akibat Torsi<sup>[6]</sup>

Sebagai tindakan antisipasi agar kegagalan yang sama tidak terulang, maka perlu dilakukan tindakan *proactive*, yakni dengan melakukan analisa kegagalan (*failure analysis*). Untuk mengetahui secara detil proses terjadinya patahan pada poros pompa GA101A maka dilakukan pendekatan model dan simulasi sistem. Pemodelan dilakukan dengan mengacu pada kondisi nyata di lapangan, yakni menyesuaikan ukuran spesimen dan parameter lainnya agar didapatkan model yang mendekati. Hasil dari Simulasi didapatkan visualisasi bagaimana mekanisme terjadinya *shaft fracture* serta faktor-faktor penyebabnya.



## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan permasalahan pada tugas akhir ini adalah mencari akar penyebab kerusakan dan langkah penanggulangan agar kegagalan poros pompa GA101A tidak terulang kembali.

## 1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini berdasarkan atas rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis penyebab kegagalan poros pompa GA101A
2. Mendapatkan langkah-langkah penanggulangan kegagalan poros pompa GA101A agar tidak terulang kembali.

## 1.4 Batasan masalah

Agar pembahasan permasalahan ini tidak meluas khususnya pada pembahasan tujuan penulisan (bab 1.3) maka diperlukan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Fluida yang mengalir berupa amoniak ( $\text{NH}_3$ )
2. Pompa yang dipergunakan secara spesifik adalah pompa Centrifugal Multistage.
3. Pengambilan data berupa *operational* dan *historical card* pompa GA101A pada bulan Januari 2013 hingga Februari 2016.
4. Sesuaian antara ring dan barrel cover adalah sesuaian pas.

## 1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Saran kepada pihak PT. Petrokimia Gresik dalam peningkatan kualitas maintenance pabrik.
2. Sebagai pembelajaran dalam melakukan analisa penyebab kerusakan suatu peralatan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang dipergunakan dalam penulisan proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 1. Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini dibahas tentang latar belakang pemilihan masalah sebagai topik tugas akhir, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, batasan masalah dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

### 2. Bab II Studi Literatur

Studi literatur mencakup beberapa referensi yang digunakan untuk mendukung penelitian seperti deskripsi proses pembuatan urea, pembebanan pada poros, kegiatan *failure analysis*, metode *Root Cause Failure Analysis (RCFA)*, klasifikasi patahan (*fracture*) pada poros, analisa perhitungan beban-tegangan dengan metode *Finite Element Method (FEM)*.

### 3. Bab III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dibahas tentang metode penelitian yang dipergunakan serta prosedur yang mencakup tahap persiapan dan pengambilan data penelitian yang dilakukan.

### 4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini mencakup analisa mengenai thermal expansion dengan menggunakan finite element analysis pada poros dan ring dengan material sebelum dan sesudah modifikasi. Selain itu juga dibahas faktor yang mempengaruhi patahnya poros serta langkah preventif yang tepat untuk menghindari terjadinya kegagalan yang sama.

### 5. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan hasil penelitian, yakni berupa faktor apa saja yang berpengaruh terhadap patahnya poros dan solusi dari permasalahan tersebut, serta saran untuk perbaikan agar kegagalan tidak terjadi kembali.

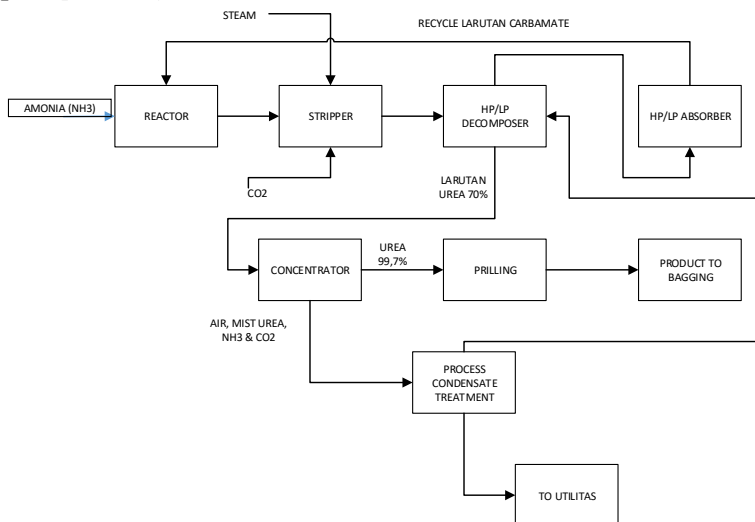
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Guna mendukung analisa penyebab kerusakan pada poros pompa GA101A, maka digunakan berbagai literatur tentang dasar pompa *centrifugal multistage*, proses pembuatan urea di PT. Petrokimia Gresik, pembebanan pada poros, *failure analysis*, modus kegagalan yang terjadi, serta teori *finite element method* (FEM).

#### 2.1 Proses Urea PT. Petrokimia Gresik

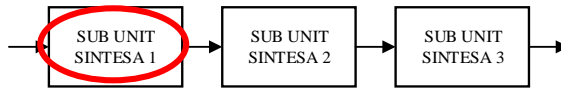
Bahan baku urea adalah amonia ( $\text{NH}_3$ ), karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan steam. Proses urea diawali dengan mereaksikan amonia ke dalam reaktor, kemudian dilanjutkan ke komponen *stripper* bersama dengan  $\text{CO}_2$  dan *steam*. Secara keseluruhan dapat dilihat pada *process flow* di bawah ini.



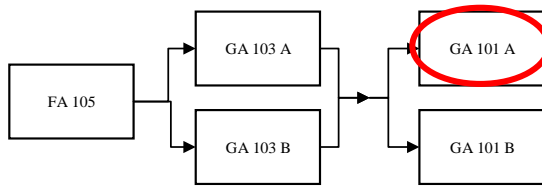
Gambar 2.1 *Process Flow* Urea

Reaktor, *stripper*, HP/LP Decomposer dan HP/LP Absorber merupakan komponen dari unit Sintesa. Unit sintesa

sendiri terdiri dari tiga sub-unit seperti terlihat pada gambar 2.2. Pada sub-unit sintesa 1 terdiri dari komponen tangki ammonia (FA105), pompa GA103 AB dan GA101AB. Pompa GA103AB merupakan pompa booster yang memompakan ammonia dari tangki ke pompa GA101AB, dimana pompa GA101AB merupakan pompa tipe centrifugal multistage dengan jumlah tingkatannya 10, sehingga memiliki head yang tinggi untuk memompakan ammonia ke reaktor.



Gambar 2.2 Blok Diagram Sub-unit sintesa

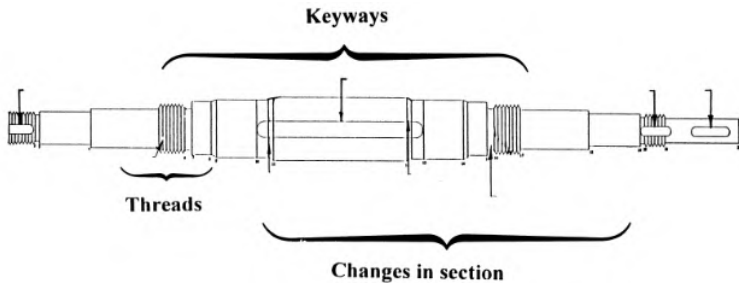


Gambar 2.3 Blok diagram Sub-unit sintesa 1

## 2.2 Pembebanan pada Poros Pompa

Beban yang diterima oleh poros antara lain adalah torsi, berat komponen dan gaya hidrolik radial maupun aksial. Dalam merancang suatu poros, defleksi maksimal yang diperbolehkan, lama pakai dan letak pembebanan harus diperhatikan, begitu pula dengan kecepatan kritisnya.

Poros biasanya diproporsikan untuk mengatasi tegangan yang timbul pada saat pompa dijalankan dengan cepat. Jika pompa digunakan untuk cairan yang panas, poros dirancang untuk mengatasi tegangan yang muncul ketika pompa mulai dingin tanpa adanya pemancingan terlebih dahulu.



Gambar 2.4 Konsentrasi Tegangan pada Pompa<sup>[5]</sup>

Gambar 2.4 menunjukkan letak konsentrasi tegangan pada poros dimana patah lelah mungkin bermula. Area paling umum menjadi awal patahan adalah konsentrasi tegangan yang terjadi pada radius terkecil pada *keyway* dan sudut-sudut yang tajam pada area penampang yang melintang pada poros. Letak konsentrasi tegangan ini harus dihindari ketika mendesain poros.

Baja (kecuali baja tahan karat) memiliki batas kelelahan di mana tegangan di bawah perambatan patah lelah tidak akan terjadi tanpa adanya gaya yang berulang. Oleh karena itu, adanya konsentrasi tegangan menurunkan batas tegangan yang diperbolehkan pada poros di titik itu, dan membuatnya semakin rentan terhadap kelelahan. Sementara itu baja tahan karat memiliki batas ketahanan, misalnya material tersebut mampu menahan gaya berulang secara terbatas sebelum mengalami kegagalan dikarenakan kelelahan.

## 2.3 Failure Analysis

Analisis kegagalan (*Failure Analysis*) adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut, sehingga dapat ditentukan penyebab dari kegagalan/kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut<sup>[2]</sup>. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Menemukan penyebab utama kegagalan

2. Menghindari kegagalan/kerusakan yang sama dimasa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan
3. Sebagai bahan pengaduan teknis terhadap pembuat komponen
4. Sebagai langkah awal untuk perbaikan kualitas komponen tersebut
5. Sebagai penentuan kapan waktu perawatan (maintenance) dilakukan.

Kegiatan Analisis kegagalan seringkali harus dilakukan oleh berbagai ahli dari berbagai disiplin ilmu yang bekerja sama sesuai dengan prosedur/tahapan yang telah ditetapkan. Adapun tahapan/langkah utama dalam melakukan Analisis kegagalan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan investigasi lapangan, yang meliputi:
  - Melakukan observasi lapangan
  - Mengukur dimensi obyek yang diselidiki
  - Melakukan wawancara/interview terhadap pihak terkait
  - Mendokumentasikan temuan lapangan (fotografi)
2. Melakukan uji tidak merusak di lapangan
  - Menentukan panjang retak aktual
  - Menentukan derajat kerusakan (damage level determination) dengan cara: uji kekerasan, uji metalografi in-situ, uji komposisi kimia (dengan portable spectrometry).
3. Melakukan uji aspek metalurgis di laboratorium
  - Pengukuran dimensi dari objek yang diteliti
  - Dokumentasi fraktografi (makro – optik, dan mikro - SEM)
  - Analisis komposisi kimia dari paduan dan/atau produk korosi
  - Inspeksi metalografi (sampling, cutting, molding, polishing, etching).

- Uji sifat mekanik
- 4. Melakukan analisis beban dan tegangan
  - Perhitungan beban dan tegangan kritis
  - Perhitungan mekanika retak
- 5. Mempelajari aspek desain, operasi dan inspeksi terkini
- 6. Melakukan analisis mendalam dan komprehensif terhadap informasi/data yang telah diperoleh.
- 7. Mempersiapkan laporan dan presentasi teknik.
- 8. Mempersiapkan saran untuk perbaikan.

## **2.4 Identifikasi Jenis Kegagalan**

Kegagalan dapat didefinisikan sebagai kerusakan yang tidak wajar atau rusak sebelum waktunya. Adapun penyebab utama kegagalan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kesalahan dalam disain
2. Kesalahan dalam pemilihan material
3. Kesalahan dalam proses pengerjaan
4. Kesalahan dalam pemasangan/perakitan
5. Kesalahan operasional
6. Kesalahan perawatan (maintenance)

Secara umum komponen dapat dikatakan gagal apabila masuk dalam kriteria sebagai berikut:

1. Komponen tidak dapat beroperasi atau tidak dapat digunakan sama sekali
2. Komponen dapat digunakan tetapi umur pakainya terbatas (tidak sesuai dengan umur pakai yang dikehendaki)
3. Komponen mengalami kelainan dan dapat membahayakan bila digunakan.

## **2.5 Kegagalan pada Poros Pompa**

Selama beroperasi, poros pompa biasanya mengalami degradasi dikarenakan korosi dan atau karena degradasi secara mekanis, biasanya dalam bentuk kegagalan karena kelelahan.

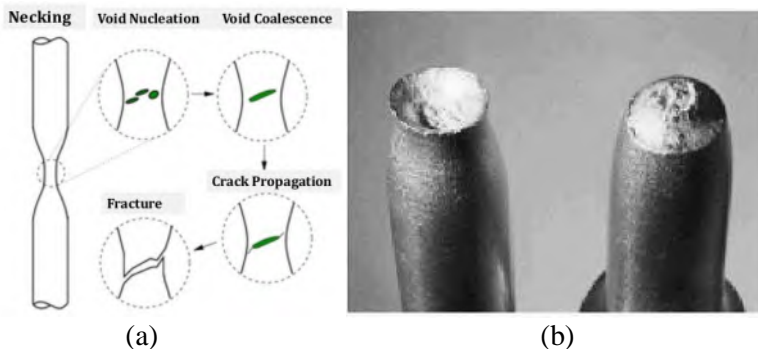
Dalam banyak kasus, kegagalan karena kelelahan didahului oleh korosi dapat meningkatkan laju kegagalan.

Poros pompa umumnya terkena cairan yang sedang dipompa baik itu secara terus menerus atau pada lokasi tertentu sepanjang poros pompa. Penyusunan pelindung secara khusus yang terdiri dari *sleeves* dan *o-rings* dapat digunakan untuk mengurangi jumlah cairan yang menyelip masuk, meski begitu, walaupun sistem perlindungan tidak dipasang atau diberikan, kerusakan pada poros diarekan korosi masih bisa terjadi.

Selain itu, kegagalan poros biasanya diawali dengan retakan yang menjalar sehingga menyebabkan suatu cacat. Retakan yang terjadi dapat dikategorikan atas ciri-ciri makroskopis, yaitu sebagai berikut :

### 2.5.1 Patah ulet (*Ductile fracture*)

Patah ulet adalah patah yang diakibatkan oleh beban statis, jika beban dihilangkan maka penjaralan retak akan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besardi sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu.

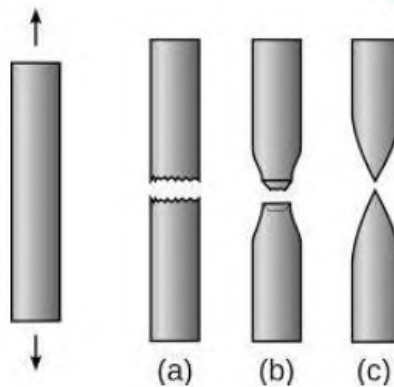


Gambar 2.5 (a) Mekanisme *Ductile Fracture* (b) Contoh *Ductile Fracture*



### 2.5.2 Patah getas (*Brittle fracture*)

Patah getas terjadi dengan ditandai penjalaran retak yang lebih cepat dibanding patah ulet dengan penyerapan energi yang lebih sedikit, serta hampir tidak disertai dengan deformasi plastis. Permukaan patahan pada komponen yang mengalami patah getas terlihat mengkilap, granular dan relatif rata. Patah getas dapat mengikuti batas butir ataupun memotong butir. Bila bidang patahannya mengikuti batas butir, maka disebut patah getas intergranular, sedangkan bila patahannya memotong butir maka disebut patah getas transgranular.

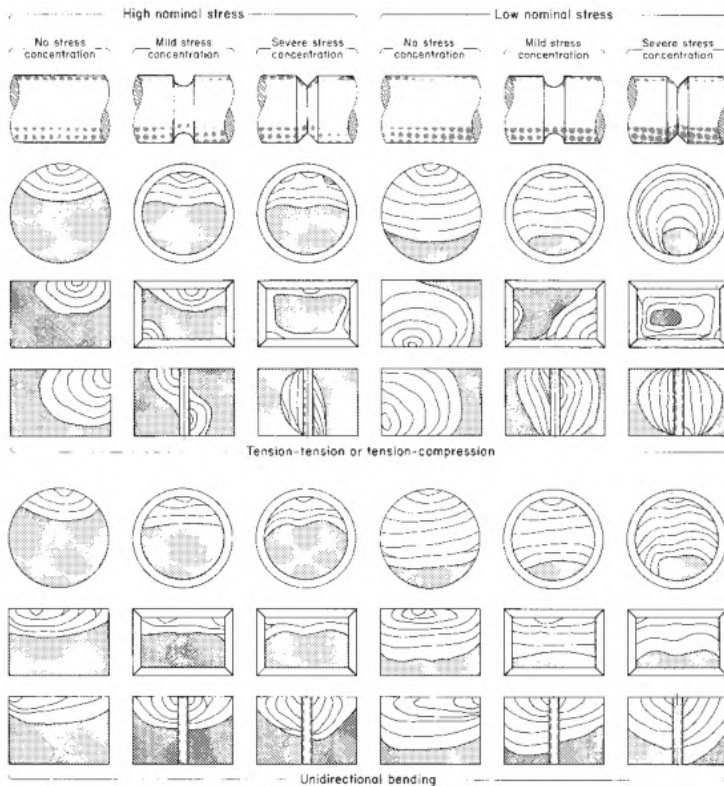


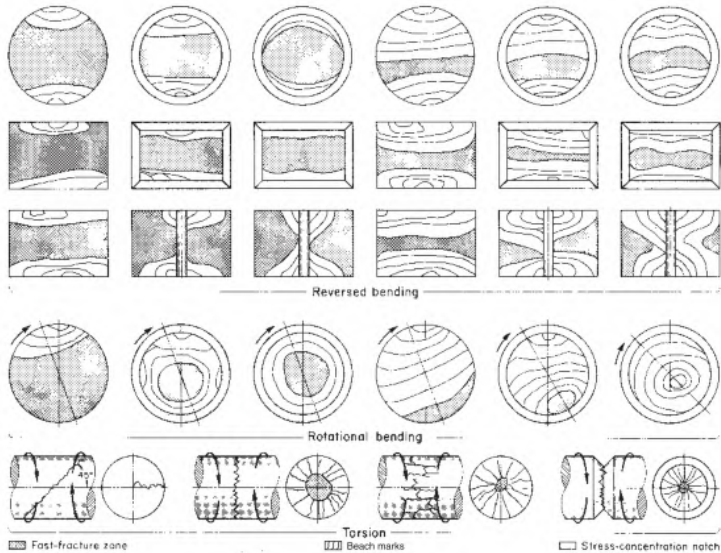
Gambar 2.6 Perbandingan Patahan (a) *Brittle Fracture*  
(b) *Ductile Fracture* (c) *Completely Ductile Fracture*

### 2.5.3 Patah lelah (*Fatigue fracture*)

Patah lelah terjadi pada komponen konstruksi dengan pembebanan yang berubah-ubah atau berulang-ulang, meskipun harga tegangan nominalnya masih dibawah kekuatan luluh material. Patah lelah berawal dari lokasi yang mengalami pemusatan tegangan (*stress concentration*) dimana apabila tegangan setempat tersebut tinggi bahkan melampaui batas luluh material, akibatnya di tempat tersebut akan terjadi deformasi plastis dalam skala makroskopis. Dari lokasi tersebut akan berawal retak lelah (*Crack initiation*) yang selanjutnya terjadi perambatan

retak (*Crack propagation*) sejalan dengan pembebanan yang berfluktuasi. Bila perambatan retak lelah ini telah jauh, sehingga luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu mendukung beban, maka komponen akan patah. Peristiwa patah tahap akhir ini disebut patah akhir (*final fracture*). Modus patahan pada tahap tersebut adalah patah statik, yaitu karena tegangan yang bekerja pada penampang yang tersisa sudah melampaui kekuatan tarik material. Pada gambar 2.7, menunjukkan beberapa skematik patahan pada penampang bulat dan *rectangular*. Gambar tersebut memperlihatkan fatigue fracture akibat *tension-compression*, *unidirectional bending*, *reverse bending*, *rotational bending* dan *torsion*.





Gambar 2.7 Skematik *Fatigue Fracture*<sup>[6]</sup>

#### 2.5.4 Retak korosi tegangan (*Stress corrosion cracking*)

Peristiwa retak korosi tegangan adalah gabungan antara tegangan tarik dengan pengaruh lingkungan yang telah mengandung ion-ion ataupun larutan kimia.



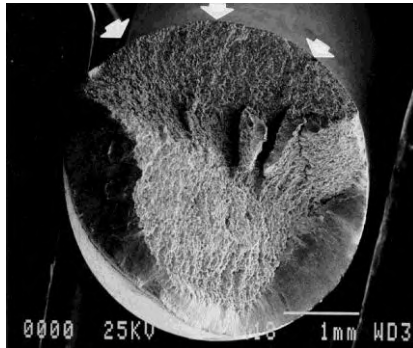
Gambar 2.8 *Stress Corrosion Cracking*

Sumber : corrosion.ksc.nasa.gov

Kebanyakan retakannya mengikuti batas butir. Secara makro perambatan retak korosi tegangan terlihat bercabang seperti akar/ranting pohon, sedangkan secara mikro dibawah mikroskop perambatan retakannya dapat transgranular maupun intergranular (melalui batas butir).

### 2.5.5 Penggetasan (*Embrittlement*)

Peristiwa penggetasan ini dapat terjadi pada material yang peka terhadap penggetasan hidrogen. Atom-atom hidrogen yang larut interstisi dapat bertemu dan berkumpul membentuk molekul gas hidrogen, sehingga mengakibatkan material menjadi patah karena tidak tersedianya ruang yang cukup untuk gas tersebut, yang akhirnya gas yang bertekanan tinggi akan mendesak material menjadi patah.



Gambar 2.9 *SEM Micrography of Hydrogen Embrittlement*

Sumber : corrosion.ksc.nasa.gov

Masuknya hidrogen ke dalam material ini biasanya terjadi pada proses pengerjaan, misalnya pada proses pengelasan dan electroplating atau pada operasi di lingkungan yang banyak hidrogennya.

### 2.5.6 Mulur (*Creep*) dan *Stress rupture*

Peristiwa mulur yang dimaksud yaitu deformasi yang berjalan dengan waktu, oleh karena itu mulur selalu ditandai

dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar. Peristiwa mulur ini terjadi bila komponen bekerja pada suhu tinggi, yaitu di atas 0,4 atau 0,5 titik cair dari material komponen tersebut dalam Kelvin. Sedangkan stress rupture selain disertai oleh deformasi plastis juga ditandai oleh adanya retak intergranular yang banyak ditemui di sekitar patahan.

## 2.6 Teori Finite Element

Salah satu praktek *failure analysis* adalah analisa *finite element*. Finite element modelling (FEM) merupakan analisa numerik untuk didapatkan suatu solusi yang mendekati kondisi aktual<sup>[2]</sup>. Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan perhitungan adalah sebagai berikut:

### 1. Pemodelan

Merupakan langkah mendefinisikan bentuk fisik dari objek yang akan di running dalam bentuk model geometri matematika. Beberapa variable yang ditentukan antara lain jenis material, satuan dan dimensi.

### 2. Meshing

Pada proses meshing ini ada beberapa metode pilihan yang bisa dipergunakan, salah satu metode yang akan dipergunakan dalam penelitian ini adalah *Hex Dominant Method*.

### 3. *Fixed Support* dan *Thermal Condition*

Pada proses ini ditentukan titik-titik *fixed* dan kemudian diaplikasikan *thermal condition* pada komponen ring dan poros, untuk mengetahui besarnya ekspansi material.

### 4. *Coordinate System*

Pada langkah ini ditentukan koordinat system baru, karena untuk mengetahui ekspansi material secara radial, sehingga dipilih tipe *cylindrical* dengan axis X ke arah radial.

### 5. *Solve*

Tahap ini dilakukan apabila pemodelan dan juga variable telah ditentukan. *Solve* merupakan proses analisis untuk memperoleh hasil atau disebut *running*.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu tentang analisa kerusakan dapat digunakan sebagai referensi dan pembanding akan latar belakang, tujuan serta metodologi yang digunakan. Berikut adalah beberapa penelitian sebelumnya yang dapat mendukung penelitian ini.

### 2.7.1 Analisa Kerusakan *Wobbler Bar* PT. Semen Gresik

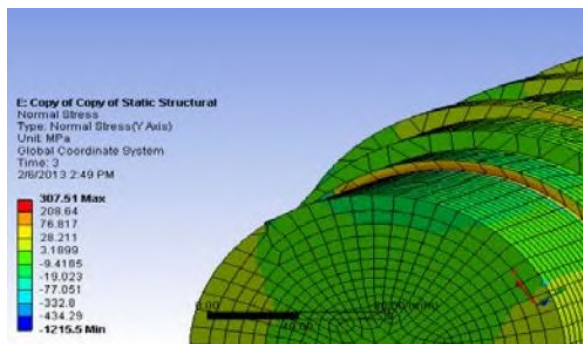
Putra, Nugraha Udiana, 2013, melakukan analisa kerusakan *wobbler bar* pada proses pengumpanan batu kapur PT. Semen Gresik Unit 1 Tuban. *Wobbler bar* berfungsi memisahkan batu kapur sesuai ukurannya. Batu kapur yang berukuran kecil (2,5 inch) akan jatuh ke dalam *belt conveyor*, sedangkan batu kapur yang berukuran besar (>2,5 inch) akan jatuh dalam *crusher*. Namun pada operasinya, *wobbler bar* pada PT. Semen Gresik Unit 1 Tuban ini, sering mengalami kerusakan, dengan modus yang sering terjadi adalah patah pada *wobbler bar* itu sendiri. Permasalahan ini menyebabkan suplai batu kapur untuk bahan baku proses produksi semen terhambat, sehingga perlu dilakukan analisa penyebab kerusakan (*Root Cause Failure Analysis*). Dalam penelitian tersebut, penulis menggunakan metode pengujian secara visual pada material, pengujian aspek metalurgis, komposisi kimia, struktur mikro dan kekerasan. Selain itu, penulis juga melakukan analisa tegangan dengan *fatigue curve* serta analisa beban dan tegangan dengan menggunakan *Finite Element Modelling* (FEM).

Patahan yang terjadi pada *wobbler bar* dapat dilihat pada gambar 2.10. Material dari *wobbler bar* sendiri belum diketahui secara spesifik, sehingga penulis melakukan pengujian X-Ray *Flourocense* untuk diketahui komposisi kimia material. Kegagalan yang terjadi merupakan kegagalan *fatigue* yang ditunjukkan

dengan adanya *beachmark* pada sisi permukaan patahan *wobbler bar*. Sebelum dilakukan investigasi lebih lanjut dengan metode *finite element*, penulis melakukan pengujian komposisi kimia dan metalografi hingga didapatkan jenis material yang mendekati adalah ASTM A311.



Gambar 2.10 Pola Patahan Wobbler bar<sup>[8]</sup>



Gambar 2.11 Besar dan posisi tegangan setelah modifikasi<sup>[8]</sup>

Berdasarkan hasil metode *finite element* pada gambar 2.11, langkah preventive yang dilakukan PT. Semen Gresik, yakni memodifikasi *wobbler bar* dengan mengurangi beban elips cukup tepat dikarenakan dapat memperpanjang *lifetime* serta memindahkan titik kritis yang terjadi pada *wobbler bar* dari 360Mpa menjadi 307,51 MPa.

Beberapa pengujian metalografi yang dilakukan penulis dinilai tepat karena material yang digunakan pada *wobbler bar*

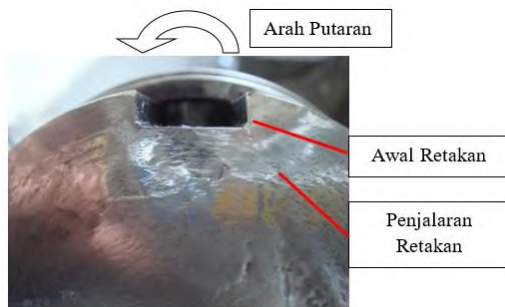
tidak diketahui. Penentuan jenis material ini diperlukan untuk menganalisa modifikasi yang dilakukan perusahaan pada pengurangan beban elips pada wobbler bar.

### 2.7.2. Analisa Kerusakan *Shaft Stainless Steel 17-4 PH* pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Amoniak PT. Petrokimia Gresik

Nurhadyan, Galih 2011 melakukan analisa kerusakan *shaft stainless steel 17-4 PH* pada pompa sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Plant Ammonia PT. Petrokimia Gresik. Pompa 107-JC merupakan pompa sentrifugal yang mengalirkan fluida berupa *Semi Lean Benfield Solution* ( $K_2CO_3$ ) yang berguna dalam proses produksi Ammonia sebagai  $CO_2$  Absorber. Kegagalan yang terjadi adalah patahnya poros (*shaft fracture*) dengan indikasi awal naiknya trend vibrasi yang melebihi standar. Menurut pengamatan penulis, patahnya poros terjadi pada daerah *keyway* di bawah *impeller* yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Letak Patahan Poros<sup>[7]</sup>



Gambar 2.13 Awal Terjadinya Retakan<sup>[7]</sup>



Penulis melakukan analisa kerusakan dengan beberapa metode, yakni dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer antara lain pengamatan makroskopik, *fractography*, mikroskopik (penggunaan SEM dan Mikroskop Optik) serta identifikasi komposisi kimia dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Sedangkan data sekunder meliputi identifikasi beban dan tegangan operasi, pengujian mekanik yang meliputi uji kekerasan rockwell C, serta uji tarik.

Dari gambar 2.13 terlihat bahwa awal retakan (*crack initiation*) terjadi karena adanya konsentrasi tegangan pada daerah rumah pasak yang memiliki sudut sedikit curam serta momen bending dan torsi yang bekerja pada poros. Awal retakan pada rumah pasak akan membentuk rambatan retakan (*crack propagation*) dan akhirnya patah seluruhnya (*final rupture*) pada bagian sisi poros yang merupakan patah lelah.

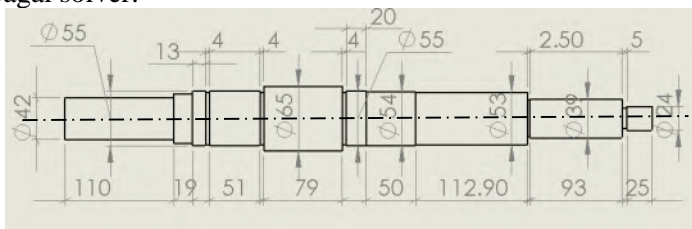
Dari hasil pengujian komposisi dan struktur mikro, material poros pompa telah memenuhi standar *Stainless steel* 17-4 PH menurut ASTM A564 / ASME SA564 Type 630. Namun, ukuran desain rumah pasak kurang sesuai dengan standar ASME : ANSI Standard B171 -1967. Ukuran pasak pada poros tersebut memiliki lebar 0,5709 in dengan tinggi pasak 0,2165 in sedangkan menurut standar poros dengan diameter 85 mm atau 3,3465 in memiliki ukuran pasak dengan lebar 0,875 in dengan toleransi – 0,0030 dan tinggi 0,625 in dengan toleransi +0,0030.

Pada analisa yang dilakukan penulis lebih cenderung kepada analisa material, baik secara makroskopis maupun secara mikroskopis. Sedangkan analisa beban yang dilakukan penulis akan didapatkan hasil yang lebih akurat jika digunakan analisa numerik seperti *finite element analysis*.

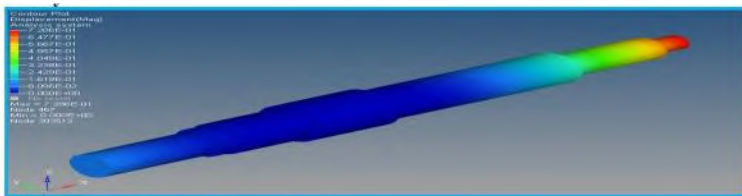
### 2.7.3 Finite Element Analysis of Shaft of Centrifugal Pump

**Bachche dan Tayade, 2013** melakukan analisa *finite element* pada poros pompa sentrifugal. Penulis melakukan analisa dua tingkat yakni analisa statis dan dinamis, karena seperti diketahui bahwa mesin *rotodynamic* merupakan mesin yang

didesain untuk menerima beban fluktuasi pada beban dan kecepatan. Pemodelan poros pompa dilakukan penulis seperti yang terlihat pada gambar 2.14, kemudian dianalisa dalam dua tahap. Pada analisa tahap pertama, dilakukan analisa statis pada *stress and deflections*. Kemudian, hasil dari analisa statis dibawa ke analisa tahap kedua, yakni analisa dinamis untuk menghitung gaya dinamis dari pompa. Kedua tahap analisa diverifikasi dengan *graphical integration method*. Software yang digunakan *finite element* meshing adalah HYPERMESH dan adalah RADIOSS sebagai solver.

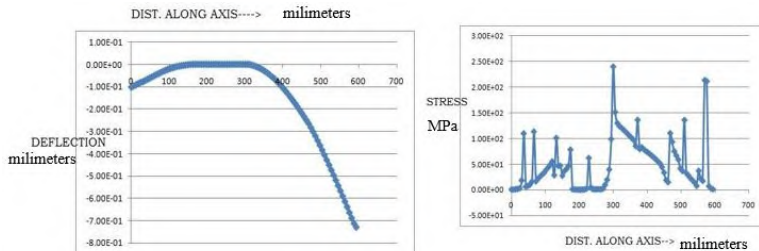


Gambar 2.14 CAD Drawing on Shaft



Gambar 2.15 Dynamic deflection<sup>[4]</sup>

Hasil yang didapatkan penulis adalah beban dinamis memiliki pengaruh besar terhadap defleksi. Seperti yang terlihat pada gambar 2.15 defleksi dinamis maksimum sebesar 0.783 mm pada bagian *impeller end* dimana lebih kecil dari *limiting value* sebesar 0.9 mm. Sedangkan, *stress* dinamis maksimum sebesar 238 Mpa dimana lebih kecil dari tegangan yang diijinkan sebesar 290 Mpa.



Gambar 2.16 Deflection and stress graph<sup>[4]</sup>

Defleksi maksimal dari hasil graphical integration method pada gambar 2.16 adalah sebesar 0,8298 mm. Hasil ini berbeda dengan metode *finite element* karena metode grafik ini merupakan metode pendekatan yang masih memiliki keterbatasan akibat adanya error sebesar 5,637%. Dari keseluruhan analisa yang dilakukan penulis, dapat disimpulkan bahwa desain aman dan *shaft* tidak akan gagal untuk kondisi saat ini.

Beberapa tinjauan pustaka diatas memiliki kesamaan dalam membuktikan stress yang terjadi menggunakan metode *finite elemen analysis* untuk melengkapi metode pengujian material lainnya. Langkah yang umum dilaksanakan dalam melakukan analisa kegagalan adalah melakukan analisa pola patahann (makroskopis), identifikasi aspek metalografi (*fractography*, mikroskopis, OES), identifikasi beban aktual yang diterima, membuat model geometri matematika komponen dan analisa beban baik secara manual maupun dengan bantuan software.

Mengikuti tinjauan pustaka diatas, analisa kegagalan poros pompa GA101A akan dimulai dengan melakukan pengamatan makroskopis pada penampang patahan, dilanjutkan dengan membuat model geometri matematika poros dan ring serta kemudian dilakukan analisa *thermal expansion* pada *software finite element* didapatkan hasil yang akurat.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Spesifikasi Pompa GA101A**

Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa Ammonia GA101A

Fungsi	Pompa Pengumpan Ammonia
Tipe	Centrifugal
Vendor	Ebara Corporation
Jumlah tingkat	10
Fluida kerja	Ammonia cair
Kondisi Fluida Masuk	24 KSCG*
Kondisi Fluida Keluar	180 KSCG*
Efisiensi	56,5 %
Daya Poros	466,2 KW
Debit	56,3 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	6300 RPM
Penggerak	Turbin GT102
Berat	4000 kg
Sealing system	Mechanical seal
Tipe impeller	Tertutup
Tipe coupling	Flexible disc
Tipe Journal Bearing	Sleeve
Tipe thrust bearing	Tilting pad
Head Total	2644 m
NPSH Tersedia	150 m

\*KSCG is Kilo Square Cubic Centimeter Gauge (kg/cm<sup>2</sup> gauge)  
 1 KSCG = 1 kg/cm<sup>2</sup>-g = 0.9807 bar g = 14.22 psig

### 3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian bertujuan untuk membuat penelitian lebih terstruktur dan sistematis. Dalam sub bab ini akan dibahas bagaimana urutan langkah penelitian serta metode-metode yang dipergunakan selama penelitian. Diawali dari tahap investigasi lapangan hingga didapatkan sebuah hasil yaitu rekomendasi yang tepat untuk mengantisipasi kerusakan yang sama di masa yang akan datang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.

#### a. Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan

Pada tahap studi lapangan, dilakukan pengamatan terhadap beberapa peralatan pabrik yang sedang dalam kondisi *breakdown*, ataupun merupakan komponen kritis dari pabrik. Tersedia beberapa pilihan peralatan yang sedang *breakdown*, namun pompa GA101A memiliki permasalahan yang lebih kompleks akibat kegagalan poros (*shaft fracture*) dan merupakan salah satu komponen kritis yang ada di pabrik. Tahap ini meliputi mempelajari secara detail desain pompa, fungsi dan sistematika kerja pompa, spesifikasi pompa, serta pengamatan visual dari kerusakan pompa yang ada yakni pada patahnya poros.

#### b. Pengumpulan *Historical Data* Pompa GA101A

*Historical data* dikumpulkan, mulai dari data vibrasi, *work order* yang dilakukan oleh pihak mekanik, spesifikasi pompa, spesifikasi bahan komponen poros. Dari *historical data*, dapat dilihat kerusakan apa saja yang pernah terjadi pada pompa selama operasinya.

#### c. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan tahap mempelajari referensi-referensi yang ada, baik *handbook* maupun jurnal. Studi literatur berguna untuk mendukung penulis melakukan analisa kerusakan yang terjadi serta mengetahui penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh peneliti lain.

**d. Melakukan Pengamatan Makroskopis**

Pengamatan secara makroskopis berguna untuk melihat bentuk dan pola patahan yang terjadi pada poros pompa. Pengamatan ini dilakukan dengan melakukan fotografi secara *close up* pada penampang patahan.

**e. Analisa *thermal expansion* ring dan poros**

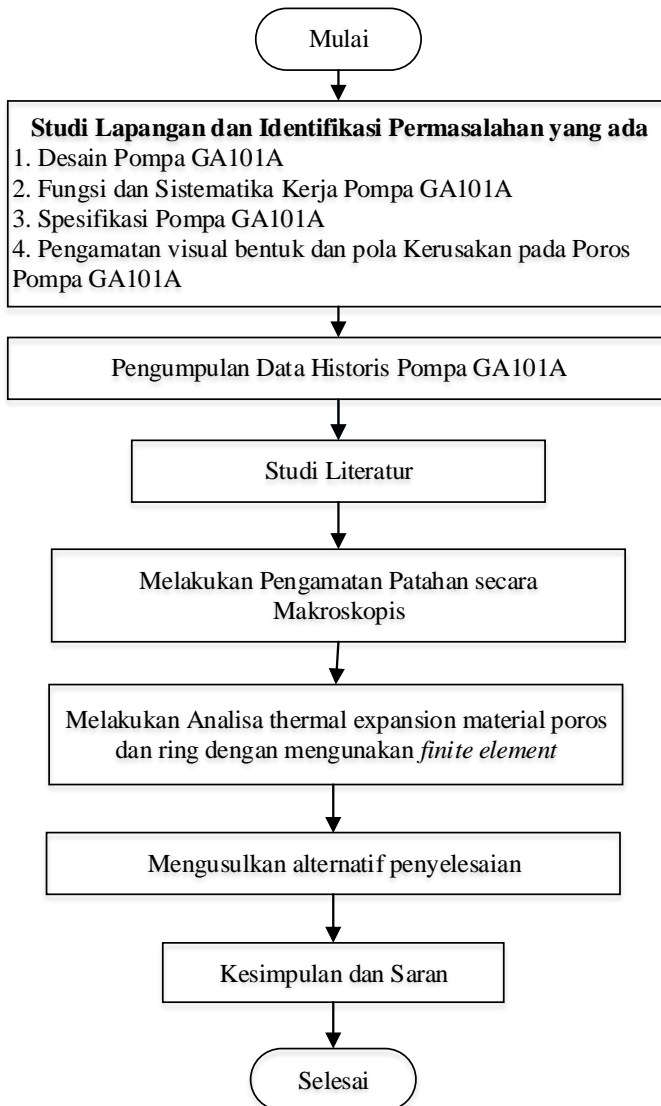
Tahap ini berguna untuk mengetahui bagaimana *thermal expansion* memiliki pengaruh besar dalam proses patahnya poros pompa GA101A. Selain itu dengan analisa ini dapat membandingkan material dan clearance ring hasil modifikasi, apakah memiliki pengaruh besar dalam patah poros.

**f. Alternatif Penyelesaian**

Analisa dengan menggunakan *Finite Element* dilakukan agar dapat diketahui alternatif penyelesaian yang ada. Alternatif penyelesaian yang dapat dicapai adalah perubahan desain, melakukan penyesuaian beban operasi, deteksi dini kegagalan serta penggantian jenis material.

**g. Kesimpulan dan Saran**

Tahap akhir dari penelitian ini didapatkan sebuah kesimpulan akan penyebab kerusakan yang terjadi. Selain itu, setelah ditemukan penyebab kerusakan yang pasti, maka akan didapatkan sebuah rekomendasi kepada perusahaan khususnya PT. Petrokimia Gresik untuk menghindari kerusakan dengan modus yang sama di masa yang akan datang.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.3 Langkah-langkah *Finite Element Analysis* (FEA)

Dalam menganalisa menggunakan *finite element*, terdapat beberapa langkah-langkah yang dilakukan, yaitu:

**a. Desain geometri 3D**

Pembuatan desain geometri tiga dimensi dari komponen poros dengan mengacu pada dimensi aktual karena dari pihak manufacturing tidak memberikan dimensi orisinil.

**b. Import CAD ke *Finite Element Software***

Setelah desain tiga dimensi CAD selesai, maka tahap selanjutnya adalah mengimpor geometri ke *Finite Element Software* untuk dilakukan analisa lebih lanjut.

**c. *Engineering Data***

*Engineering data* yang dimasukkan dalam *software* adalah data yang termuat dalam *mechanical properties Stainless Steel 410H* serta 304.

**d. *Meshing***

Pada proses *meshing* ini ada beberapa metode pilihan yang bisa dipergunakan, salah satu metode yang akan dipergunakan dalam penelitian ini adalah *Hex Dominant*.

**e. *Fixed Support dan Thermal Condition***

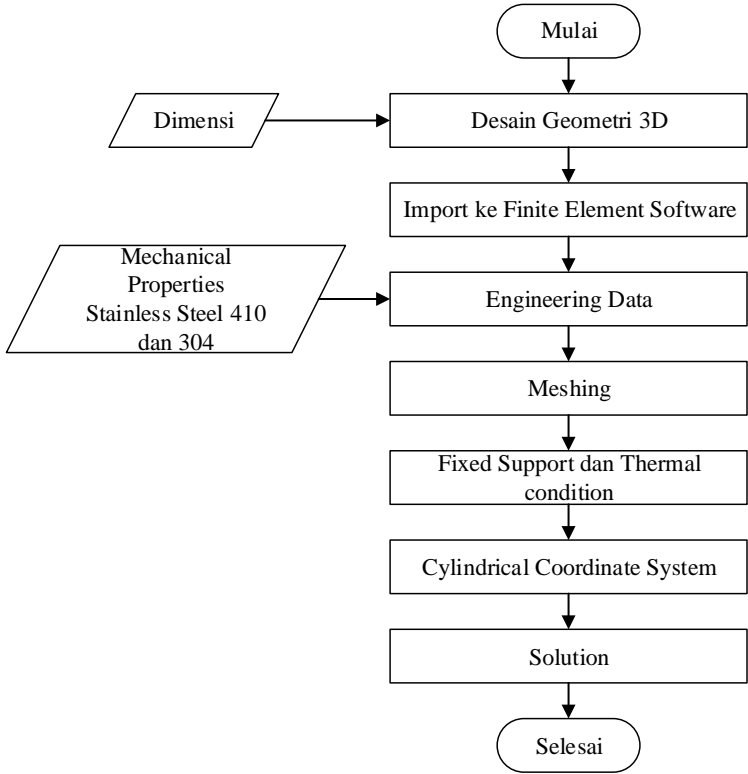
Pada tahap ini ditentukan posisi titik-titik pusat tegangan statis serta aplikasi *thermal condition* yang diberikan pada komponen ring dan poros.

**f. *Coordinate System***

Pada langkah ini ditentukan koordinat system baru, karena untuk mengetahui ekspansi material secara radial, sehingga dipilih tipe *cylindrical* dengan axis X ke arah radial.

**g. *Solution***

Tahap ini merupakan proses analisa untuk memperoleh hasil. *Solution* dilakukan jika pemodelan dan variable telah ditentukan



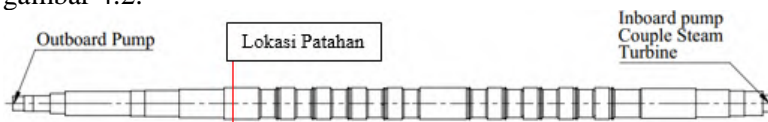
Gambar 3.2 Diagram Alir *Finite Element Analysis*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Mengacu pada studi literatur dan studi lapangan yang telah dilakukan, nantinya akan dilakukan analisa baik secara *fractography* maupun secara simulasi yakni dengan menggunakan metode *finite element*. Hasil studi literatur dan pengamatan di lapangan pada fenomena patahnya poros pompa sentrifugal *multistage* GA101A, didapat beberapa data antara lain adalah sebagai berikut:

### 4.1 Data Awal Kerusakan

Kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal *multistage* GA101A adalah patahnya poros pompa yang terjadi setelah proses *turn around* (TA) Januari-Februari 2016. Informasi ukuran geometri dari poros sendiri tidak diberikan oleh manufacturer, sehingga dilakukan pengukuran aktual pada poros yang ada. Bentuk poros dan posisi patahan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.1, sedangkan foto patahan pada poros dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Lokasi Patahan Poros

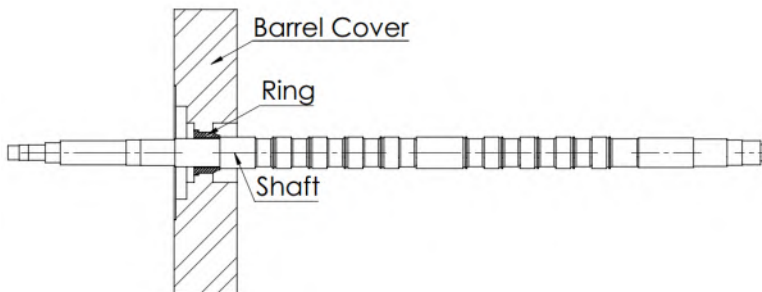


(a)



Gambar 4.2 (a) Poros yang putus, (b) Penampang Patahan Poros Sisi A (c) Penampang Patahan Poros Sisi B

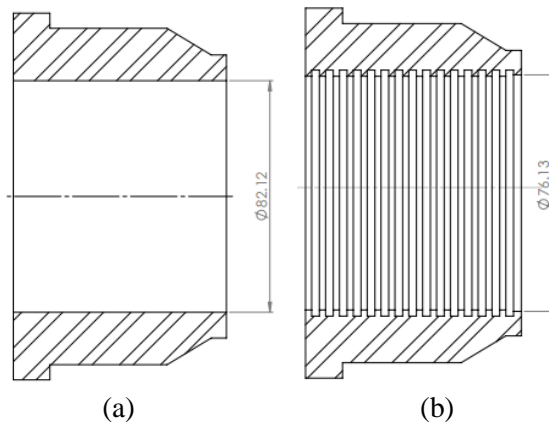
Dari gambar 4.1 terlihat bahwa posisi patahan poros tidak berdekatan dengan *couple steam turbine*, sehingga dugaan akan patahan terjadi karena besarnya pengaruh torsi menjadi sangat lemah. Hipotesa selanjutnya mengacu pada terjadinya *thermal expansion* yang terjadi antara *shaft* dan *ring* yang berada dalam *barrel cover*. Hipotesa ini dipicu adanya informasi bahwa ring yang digunakan merupakan ring baru yang diganti pada saat proses *Turn Around (TA)*. Potongan *joint* dari *shaft*, *ring* dan *barrel cover* dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Potongan *Joint Shaft*, *Ring* dan *Barrel Cover*

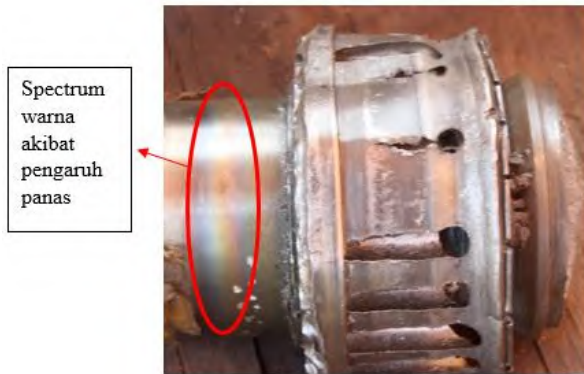
Dalam histori perawatan, terjadi modifikasi geometri ring dan poros akibat terjadi *unbalance* yang menyebabkan keausan

pada ring. Modifikasi yang dilakukan pada *ring* berupa penambahan labirin pada *inner diameter* dan penggantian material dari *stainless steel* 410 menjadi 304 dikarenakan ketersediaan material yang ada. *Clearance* poros dan ring pada desain awal sebesar 0.165 mm, akan tetapi setahun sebelum patahnya poros, *clearance* hasil pengukuran aktual poros dan ring adalah sebesar 2.12 mm. Pada kegiatan *turn around* 2016 dilakukan pengurangan *clearance* hingga mendekati desain, yakni dari 2.12 mm menjadi 0.30 mm dengan melakukan pengurangan diameter poros dari 80 mm hingga menjadi 75,83 mm, sedangkan ring pada gambar 4.4, dari inner diameter 82.12 mm menjadi 76.13 mm. Langkah ini dilakukan karena poros yang bersinggungan dengan *ring* terjadi aus di beberapa sisi, sehingga dilakukan pengurangan diameter poros untuk meratakan diameter.

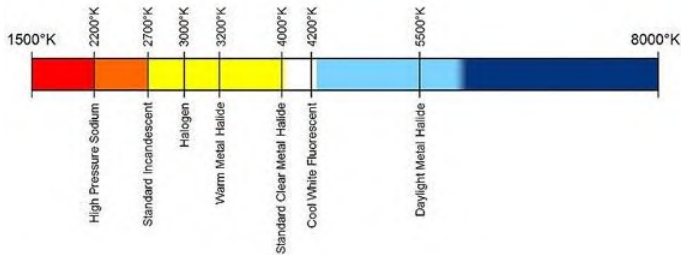


Gambar 4.4 (a) Ring Sebelum Modifikasi (b) Setelah modifikasi

Pada area sekitar patahan poros teridentifikasi adanya temperatur tinggi yang terjadi, yakni dengan adanya spektrum warna pada sekitar patahan. spektrum warna tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Spektrum Warna pada Poros

Gambar 4.6 Kelvin Temperature Chart<sup>[10]</sup>

Mengacu pada gambar 4.6, spektrum warna yang terdapat pada patahan poros gambar 4.5, menunjukkan adanya pengaruh temperatur antara 1500-2700°K atau 1227-2427°C, yang sangat jauh dari temperatur operasi pompa itu sendiri, yakni sebesar 40-60°C. Temperatur tinggi ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara komponen ring dan poros yang menimbulkan panas berlebih. Hasil analisa thermal dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini.

## 4.2 Spesifikasi Material

Spesifikasi material yang dipergunakan dalam penelitian adalah *Stainless Steel* 410H dan 304 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Physical and Mechanical Properties SS 410H

<b>Density</b>	7740 kg/m <sup>3</sup>
<b>Coefficient of Thermal Expansion</b>	0-649°C = $11.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
<b>Zero Thermal Strain Reference Temperature</b>	22 °C
<b>Young Modulus</b>	$1.93 \times 10^{11}$ Pa
<b>Poisson Ratio</b>	0.31
<b>Bulk Modulus</b>	$1.693 \times 10^{11}$ Pa
<b>Shear Modulus</b>	$7.3664 \times 10^{10}$ Pa
<b>Tensile strength</b>	620 MPa
<b>Compressive Yield Strength</b>	620 MPa
<b>Tensile Ultimate Strength</b>	830 MPa

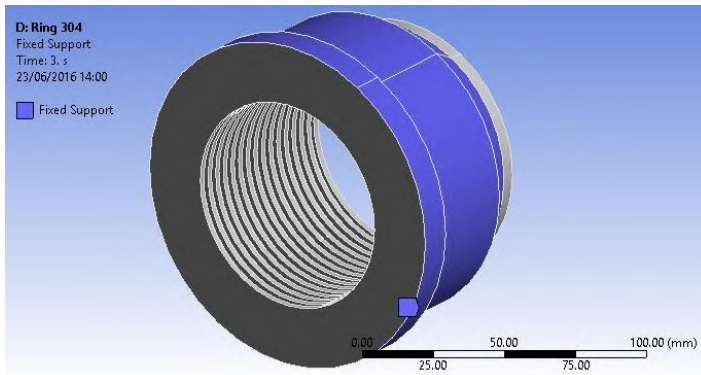
Tabel 4.2 Physical and Mechanical Properties SS 304

<b>Density</b>	8030 kg/m <sup>3</sup>
<b>Coefficient of Thermal Expansion</b>	0-315°C = $17.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
<b>Zero Thermal Strain Reference Temperature</b>	22 °C
<b>Young Modulus</b>	$1.93 \times 10^{11}$ Pa
<b>Poisson Ratio</b>	0.29
<b>Bulk Modulus</b>	$1.5317 \times 10^{11}$ Pa
<b>Shear Modulus</b>	$7.4806 \times 10^{10}$ Pa
<b>Tensile strength</b>	215 MPa
<b>Compressive Yield Strength</b>	215 MPa
<b>Tensile Ultimate Strength</b>	505 MPa

Material poros adalah *Stainless Steel* 410H, sedangkan ring lama menggunakan *Stainless Steel* 410H dan material ring baru adalah *Stainless Steel* 304. Pada penelitian ini akan dibandingkan pengaruh perbedaan material ring lama dan baru, yakni fokus pada koefisien *material thermal expansion*, seperti yang tertera pada table 4.1 dan 4.2.

### 4.3 Boundary Condition Finite Element Analysis

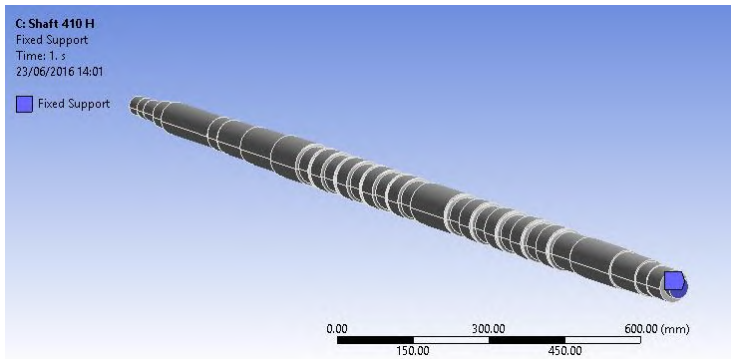
*Boundary condition* dalam analisa *finite element* ini adalah terdiri dari aplikasi *fixed support* dan thermal load. *Fixed support* yang diberikan pada poros dan ring dapat dilihat pada gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7 *Fixed support* wearing

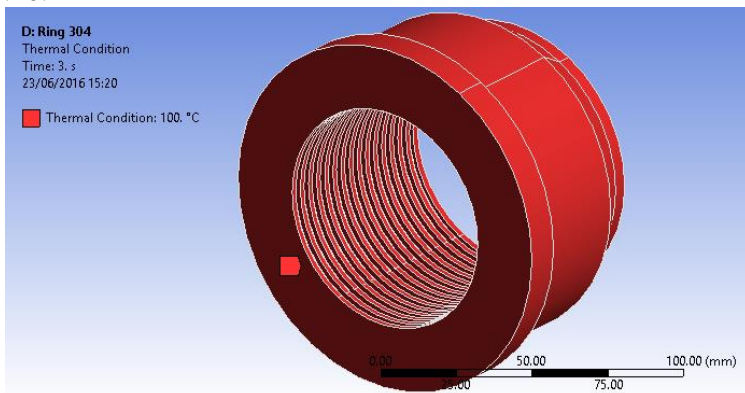
Pada gambar 4.5 terlihat aplikasi *fixed support* terdapat pada outer ring, karena dalam rangkaiannya, ring ini di *assembly* dengan *barrel cover*, sehingga jika terjadi beban *thermal* pada ring, ekspansi ring ke arah *outer* terjadi sangat kecil atau hampir tidak terjadi. Ekspansi yang terjadi didominasi ke arah *inner* dari ring itu sendiri.



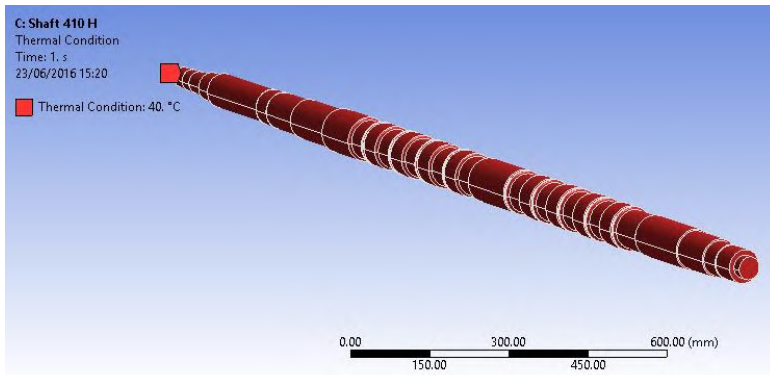


Gambar 4.8 *Fixed Support* pada Poros

*Fixed support* pada poros diaplikasikan pada *face* kedua ujung poros, yang terlihat pada gambar 4.8. Hal ini dilakukan karena jika poros diberikan *thermal load*, ekspansi ke arah *axial* poros tidak terjadi, yang terjadi adalah ekspansi *thermal* ke arah radial dan *circular*. Thermal condition yang diaplikasikan pada keseluruhan body komponen poros dan ring, dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.9 Thermal Condition pada Ring



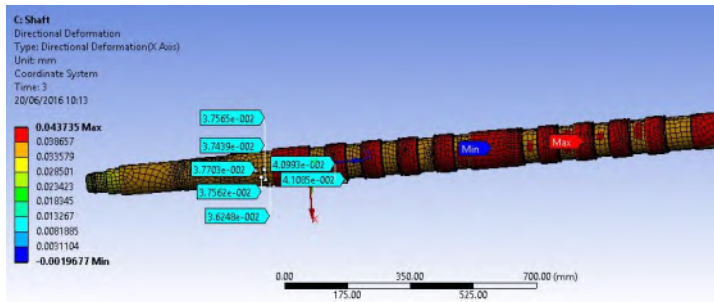
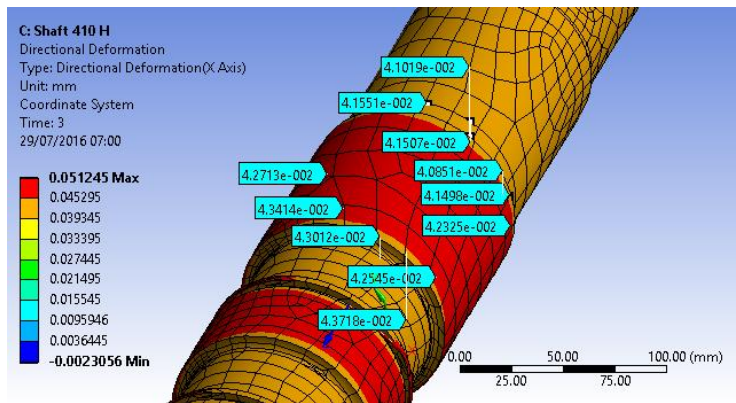
Gambar 4.10 Thermal Condition pada Poros

#### 4.4 Hasil *Finite Element Analysis*

Mengacu pada mekanisme terjadinya patahan poros pada sub bab sebelumnya, maka dalam simulasi *finite element*, poros dan ring diberikan *thermal load* mulai dari 40°C hingga 200°C. Dasar pemberian aplikasi panas ini adalah karena pada poros di dekat patahan terdapat spektrum warna yang menandakan adanya panas berlebih pada area tersebut, terlihat pada gambar 4.5.

##### 4.4.1 Thermal Load pada Poros

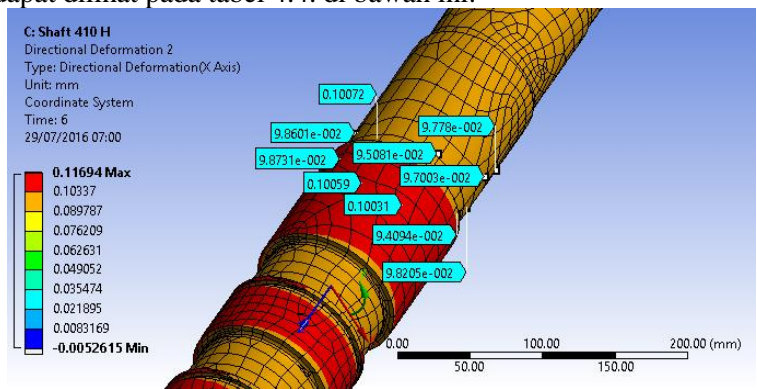
*Thermal load* yang diberikan pada poros menghasilkan deformasi *circular* seperti yang terlihat pada gambar 4.11. Karena deformasi yang terjadi pada permukaan poros tidak merata, maka dilakukan lima kali pengambilan data kemudian diambil rata-rata. Pengambilan data ekspansi *thermal* pada *joint ring* dengan temperature akhir 100°C dapat dilihat pada gambar 4.12 dan nilai deformasi maksimum dapat dilihat pada tabel 4.3.

Gambar 4.11 *Directional Deformation* pada PorosGambar 4.12 Detail Ekspansi Thermal pada *Joint Ring* dengan Temperatur akhir 100°C

Tabel 4.3 Data Ekspansi Poros pada Temperatur akhir 100°C

No	Expansion (mm)	No	Expansion (mm)
1	0.042545	6	0.041551
2	0.043718	7	0.041507
3	0.043012	8	0.041498
4	0.043414	9	0.041019
5	0.042713	10	0.042325
Nilai Maksimum = 0.043718 mm			

Selanjutnya, deformasi *circular* poros dengan temperatur akhir 200°C dapat dilihat pada gambar 4.13. Nilai deformasi maksimum dapat dilihat pada tabel 4.4. di bawah ini.



Gambar 4.13 Detail Ekspansi Thermal pada Joint Ring dengan Temperatur Akhir 200°C

Tabel 4.4 Data Ekspansi Poros pada Temperatur akhir 200°C

No	Expansion (mm)	No	Expansion (mm)
1	0.0986	6	0.095081
2	0.09873	7	0.094094
3	0.10072	8	0.097003
4	0.10059	9	0.09778
5	0.10031	10	0.098205
Nilai Maksimum = 0.10072 mm			

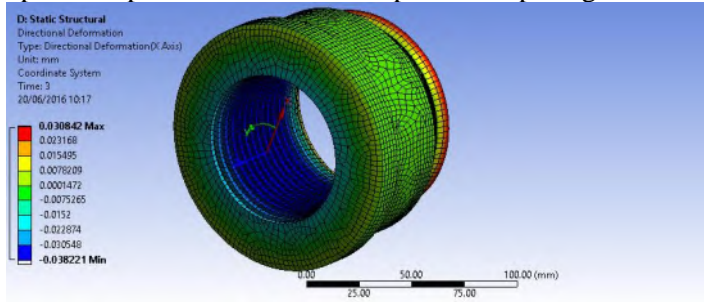
4.4.2 Thermal Load pada Ring

Simulasi *Thermal load* pada ring dilakukan pada dua jenis material yang berbeda namun dengan geometry yang sama. Keadaan ini mengacu pada keadaan sebelum dan sesudah modifikasi ring, untuk mengetahui bagaimana efek perbedaan material terhadap thermal expansion.

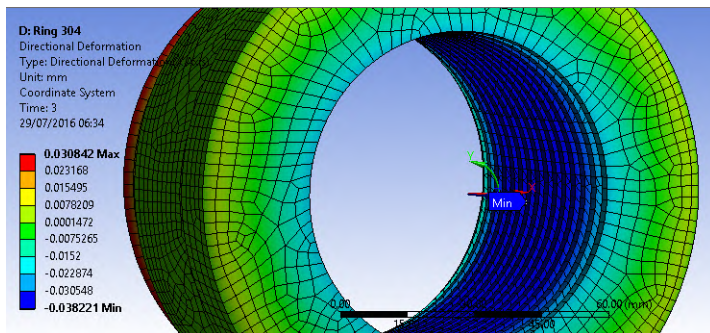
#### 4.4.2.1 Ekspansi Pada Ring dengan Material *Stainless Steel* 304

##### A. Temperature akhir 100°C

Ekspansi komponen ring dengan material *Stainless Steel* 304 pada temperatur akhir 100°C dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.14 *Directional Deformation* pada Ring



Gambar 4.15 Ekspansi *Thermal Inner Ring* SS 304 Pada Temperatur Akhir 100°C

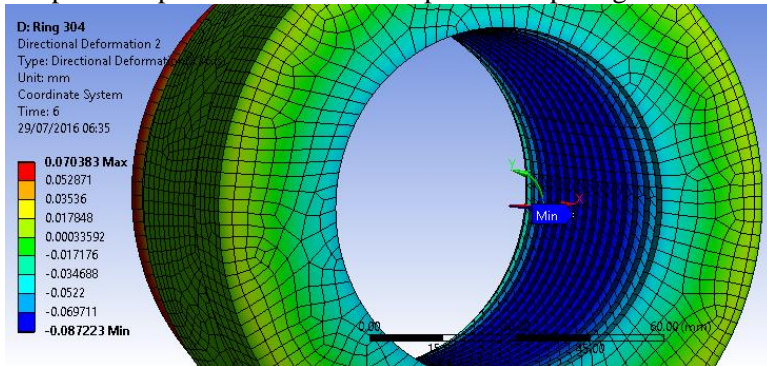
Pada gambar 4.15, warna biru menunjukkan besar deformasi. Nilai ekspansi komponen ring bernilai negatif karena deformasi menuju ke arah inner atau berlawanan dengan sumbu radial. Nilai minimum pada gambar merupakan nilai deformasi maksimum ring 304 pada temperatur 100°C, yakni sebesar 0.0382 mm. Perhitungan ekspansi total dilakukan yakni dengan menjumlahkan

ekspansi yang terjadi pada poros dan ring stainless steel 304 dengan temperature 100°C. perhitungannya adalah sebagai berikut:

Clearance (dalam radius)	0.15 mm
Total Expansion	$0.043718 + 0.0382 = 0.081918$ mm
<b>Sisa Clearance</b>	<b>0.068082 mm</b>

## B. Temperature akhir 200°C

Ekspansi komponen ring dengan material *Stainless Steel* 304 pada temperatur akhir 200°C dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Ekspansi *Thermal Inner Ring SS 304* Pada Temperatur Akhir 200°C

Pada gambar 4.16, warna biru menunjukkan besar deformasi. Nilai ekspansi komponen ring bernilai negatif karena deformasi menuju ke arah inner atau berlawanan dengan sumbu radial. Nilai minimum pada gambar merupakan nilai deformasi maksimum ring 304 pada temperatur 200°C, yakni sebesar 0.08722 mm.

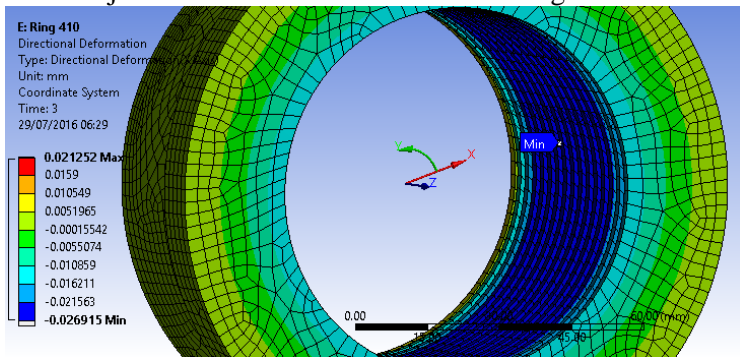
Deformasi total ring dan poros dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

Clearance (dalam radius)	0.15 mm
Total Expansion	$0.10072 + 0.08722 = 0.18794$ mm
<b>Sisa Clearance</b>	<b>-0.03794 mm</b>

#### 4.4.2.2 Ekspansi Pada Ring dengan Material Stainless Steel 410

##### A. Temperature akhir 100°C

Pada simulasi thermal expansion ring pada material *Stainless Steel* 410 didapatkan deformasi seperti pada gambar 4.17 serta ditunjukkan nilai deformasi maksimum ring.



Gambar 4.17 Ekspansi *Thermal Inner Ring* SS 410 Pada Temperature Akhir 100°C

Pada gambar 4.17, warna biru menunjukkan besar deformasi. Nilai ekspansi komponen ring bernilai negatif karena deformasi menuju ke arah inner atau berlawanan dengan sumbu radial. Nilai minimum pada gambar merupakan nilai deformasi maksimum ring 410 pada temperatur 100°C, yakni sebesar 0.0269 mm.

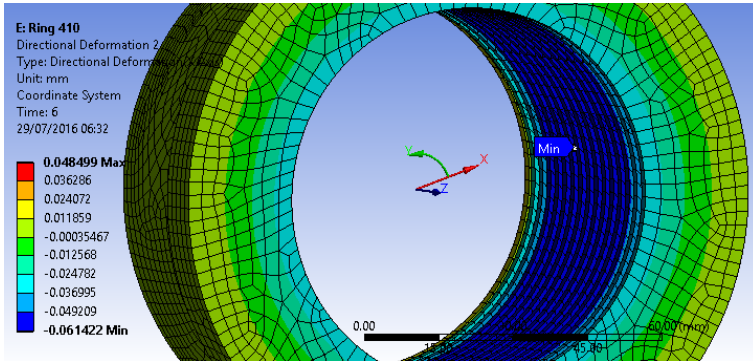
Dengan menjumlahkan hasil deformasi ring dan poros pada temperature 100°C, didapatkan hasil seperti perhitungan di bawah ini:

Clearance (dalam radius)	0.15	mm
Total Expansion	$0.043718 + 0.0269 = 0.070618$	mm
Sisa Clearance	<b>0.079382</b>	<b>mm</b>



### C. Temperature akhir 200°C

Ekspansi thermal yang terjadi pada inner ring stainless steel 410 pada temperature akhir 200°C dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Ekspansi *Thermal Inner Ring SS 410* Pada Temperatur Akhir 200°C

Pada gambar 4.18, warna biru menunjukkan besar deformasi. Nilai ekspansi komponen ring bernilai negatif karena deformasi menuju ke arah inner atau berlawanan dengan sumbu radial. Nilai minimum pada gambar merupakan nilai deformasi maksimum ring 410 pada temperatur 200°C, yakni sebesar 0.0614 mm. Sehingga dengan menjumlahkan besar deformasi ring dan poros pada temperature 200°C akan didapatkan perhitungan seperti di bawah ini.

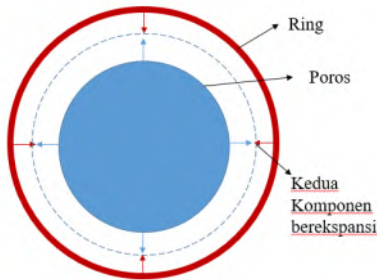
Clearance (dalam radius)	0.15	mm
Total Expansion	$0.10072 + 0.0614 = 0.16212$	mm
Sisa Clearance	<b>-0.01212</b>	<b>mm</b>

### 4.5 Pembahasan

Dari hasil analisa *finite element*, ring dengan material *stainless steel* 304 memiliki deformasi yang lebih besar, yakni sebesar 0.0382 mm pada temperature 100°C dan 0.08722 mm pada temperature 200°C. Jika dijumlahkan dengan ekspansi pada poros



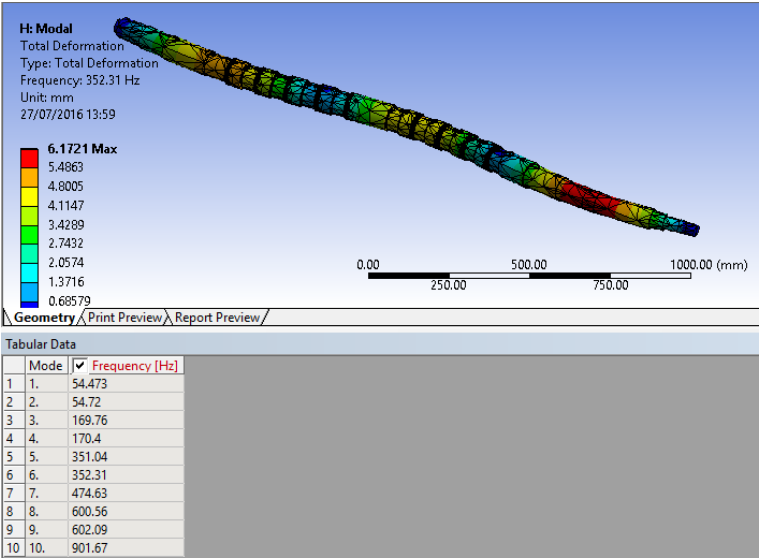
maka akan didapatkan total ekspansi keseluruhan dalam radius, yakni sebesar 0.081918 mm pada temperature 100°C dan 0.18794 mm pada temperature 200°C. Mekanisme terjadinya ekspansi material kedua komponen dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.19 Ilustrasi *thermal expansion* komponen ring dan poros

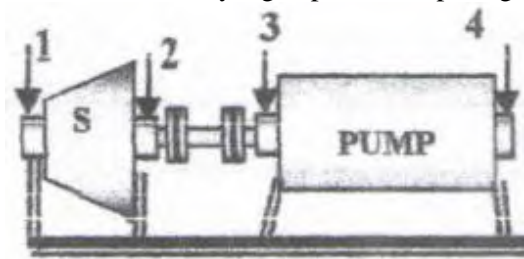
Hasil analisa *finite element*, mekanisme patahan yang terjadi karena *thermal expansion* pada poros dan ring yang melebihi batas *clearance* yang ada. *Initial thermal load* disebabkan oleh temperature kerja pompa itu sendiri sebesar 40-60°C dan pada kondisi tersebut masih tergolong aman. Namun, dengan adanya vibrasi tinggi pada poros pompa, maka gesekan akan selalu terjadi. Gesekan inilah yang akan menaikkan suhu ring, sehingga melebihi temperatur kerja pompa. Saat suhu mencapai sekitar 200°C, gesekan akan semakin besar bahkan menurut spektrum warna pada poros, suhu mencapai sekitar 1200°C sebelum poros putus.

Vibrasi yang terjadi pada pompa diperkirakan diakibatkan oleh *unbalance* maupun *misalignent*. *Unbalance* muncul dari massa *unbalance* pada impeller pompa. *Modal analysis* pada poros pompa menunjukkan tidak terjadi resonansi, pada putaran operasi. Pada gambar 4.20 terdapat sepuluh *natural frequency* poros. Operasi poros sendiri pada putaran 6300 rpm atau 105rps, sehingga apabila dicocokkan pada frekuensi natural poros, tidak terjadi resonansi karena frekuensi eksternal tidak ada yang mendekati frekuensi natural poros.



Gambar 4.20 Modal Analysis pada Poros

Data vibrasi menunjukkan bahwa telah terdeteksi adanya kenaikan *trend* vibrasi sejak bulan November 2015 pada titik 4 atau pada *pump outboard*. Pengambilan data vibrasi yang dilakukan mengacu pada gambar 4.21 dan hasil pengukuran vibrasi pada titik 4 dapat dilihat pada tabel 4.5. Penilaian vibrasi mengacu pada *vibration chart* ISO 10816-3 yang dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.21 Titik Pengambilan Data Vibrasi Pompa

Tabel 4.5 Data Vibrasi Pompa Pada titik 4

Date	Time	Hz	Lines	RPM	MM/S	Amplitude X
22/05/2015	08:38	5375	1600	6300	3.681	8.04815E-06
26/05/2015	09:10	5500	1600	6500	3.089	9.37259E-06
24/06/2015	09:02	5500	1600	6500	4.003	7.23256E-06
24/06/2015	09:01	5500	1600	6500	5.019	5.76847E-06
24/06/2015	08:58	5500	1600	6500	5.741	5.04301E-06
21/08/2015	08:07	5375	1600	6300	4.330	6.84186E-06
25/11/2015	08:52	5625	1600	6604	6.422	4.40806E-06
27/11/2015	09:25	5625	1600	6620	6.783	4.17346E-06
10/12/2015	08:00	5500	1600	6573	6.346	4.56223E-06
14/12/2015	09:00	5500	1600	6573	6.454	4.48589E-06
29/02/2016	14:46	4500	1600	5321	4.529	7.81314E-06
29/02/2016	14:20	4625	1600	5485	5.456	6.31036E-06
29/02/2016	14:04	4250	1600	5044	2.666	1.40537E-05
29/02/2016	13:38	4875	1600	4387	1.462	2.23418E-05

ISO 10816-3		Machinery Groups 2 and 4		Machinery Groups 1 and 3	
Velocity		Rated power			
CMAS 100-SL		15 kW – 300 kW		Group 1: 300 kW – 50 MW Group 3: Above 15 kW	
in/sec eq. Peak	mm/sec RMS				
0.61	11.0	DAMAGE OCCURS			
0.39	7.1	RESTRICTED OPERATION			
0.25	4.5	UNRESTRICTED OPERATION			
0.19	3.5	UNRESTRICTED OPERATION			
0.16	2.8	UNRESTRICTED OPERATION			
0.13	2.3	UNRESTRICTED OPERATION			
0.08	1.4	UNRESTRICTED OPERATION			
0.04	0.7	NEWLY COMMISSIONED MACHINERY			
0.00	0.0	NEWLY COMMISSIONED MACHINERY			
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible

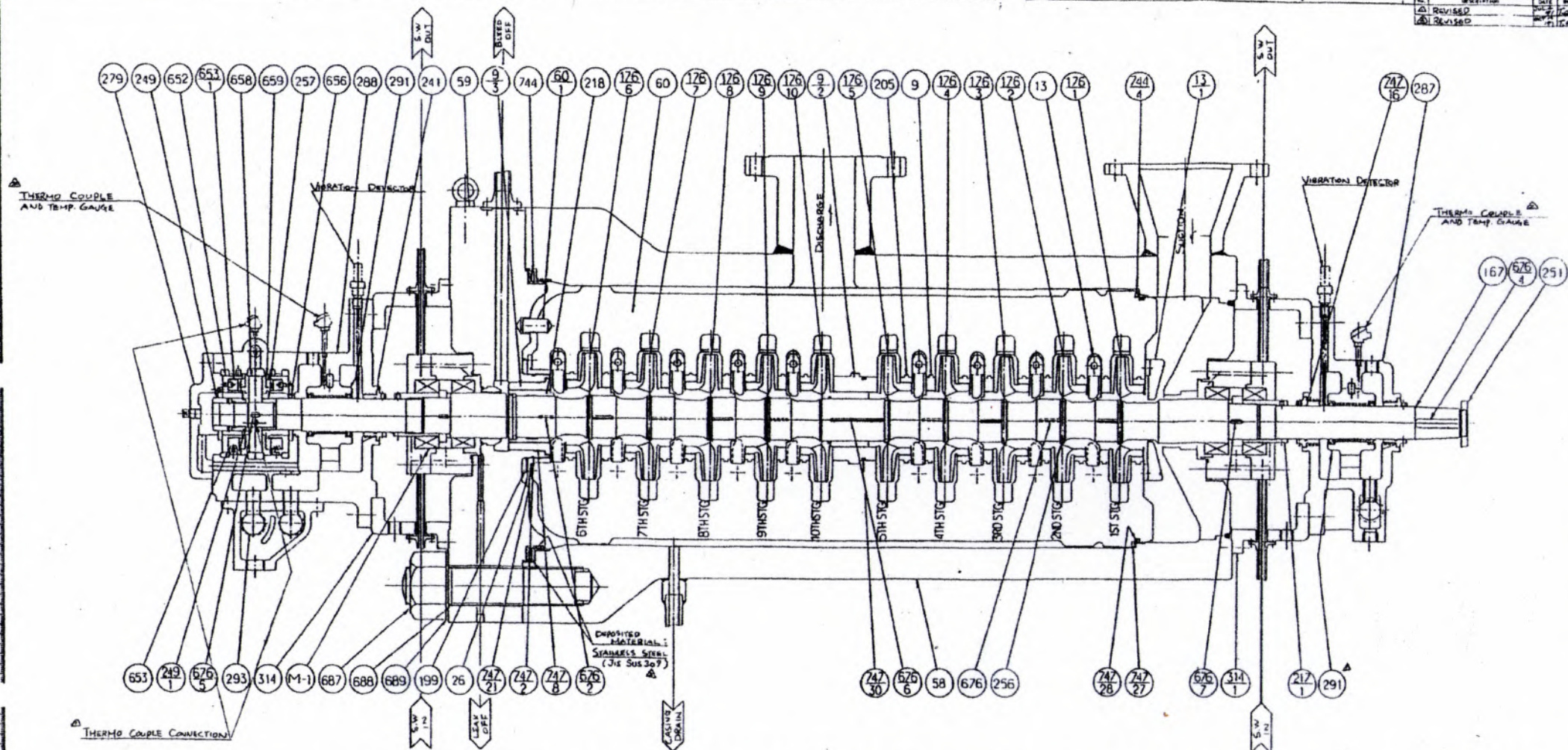
Gambar 4.22 Vibration Chart ISO 10816-3

Mengacu pada table 4.5 dan gambar 4.22, vibrasi yang terdeteksi pada pompa dengan daya 460kW mencapai kondisi *restricted operation*, sehingga mampu menyebabkan gesekan pada *joint shaft* dan *ring*, kemudian menimbulkan panas yang berkelanjutan. Panas ini akan memicu *thermal expansion* material baik pada poros dan ring. Apabila, *thermal expansion* yang terjadi melebihi batas *clearance* yang diberikan, maka pada *joint* poros dan *ring* akan terkunci, dimana poros masih tetap berputar, akibatnya beban torsi yang terjadi terus menerus pada area *joint* menyebabkan poros mengalami *fatigue* dan akhirnya terjadi patah poros.

#### 4.6. Solusi dan Rekomendasi

Mengacu pada hasil analisa *finite element*, untuk menanggulangi *thermal expansion* material yang terjadi antara ring dan poros, maka rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah besaran *clearance* antara kedua komponen tersebut. *Clearance* aman menurut hasil *finite element analysis*, dengan material ring *Stainless Steel* 304 dan temperatur 200°C adalah diatas 0.40 mm, sehingga penggantian jenis material tidak diperlukan. Namun, apabila digunakan material *Stainless Steel* 410, *clearance* ring-poros minimal yang dibutuhkan adalah sebesar 0.35 mm. Selain itu, apabila terjadi perbaikan pada pompa sehingga harus dilakukan pembongkaran, maka perlu dilakukan *balancing* setelah *impeller* terpasang pada poros, karena berpotensi adanya massa *unbalance* pada *impeller* yang dapat mengakibatkan munculnya vibrasi.





653-1 LOCKING SLEEVE	A576 1045	53SC	1	674 KEY-BALANCE SLEEVE	A276 420	SUS420J2	1	219 NUT-SHAFT END	A576 1035	53SC	1
652-1 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	675 KEY-IMPELLER SERIES	A276 420	SUS420J2	8	241 DEFLECTOR	A276 420	SUS420J1	3
652-2 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654 IMPELLER SHOE ASS'Y (16 PER SET)	A576 1015	SUS420J2	2	218 BALANCE SLEEVE	A276 420	SUS420J1	1
652-3 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	655 THRUST DISC	A151 4135	BCM35	1	217 NUT-SHAFT SLEEVE	A276 304	SUS304	2
652-4 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	656 OIL SEAL	A253 50	781 No. 2	2	295 CASE WEAR RING-SERIES	A743 CA40		10
652-5 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	653-1 MOCKER PLATE (16 PER SET)	A576 1020	520C	16	199 LOCATING RING-VOLUTE	A276 420	SUS420J1	1
652-6 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	653-2 LEVELING PLATE (16 PER SET)	A576 1020	520C	16	200 IMPELLER	A743 CA40		10
652-7 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	652 HOUSING RING-THRUST	A48 CL.40	FC300	2	187 SHAFT	A276 420	SUS420J1	1
652-8 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-1 BEARING BRACKET SECTION END	A27 65-35	SC16	1	60-1 PIN-VOLUTE CASE	A276 420	SUS420J1	1
652-9 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-2 BEARING BRACKET COVER END	A27 65-35	SC16	1	60 VOLUTE-IN HALVES	A743 CA40		10
652-10 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-3 OIL SIGHT	A27 65-35	SC16	1	59 BARREL COVER	A105		1
652-11 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-4 SLEEVE BEARING IN HALVES	A576 1015	520C/MJ2	2	58 OUTER BARREL	A105		1
652-12 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-5 CASING OIL SIGHT THRUST	A48 CL.40	FC300	2	26 BUSHING-VOLUTE	A276 420	SUS420J2	1
652-13 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-6 HOUSING-THRUST BEARING	A48 CL.40	FC300	1	13-1 SPLITTER-1ST STAGE	A743 CA15	BCS1	2
652-14 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-7 HOUSING-RADIAL BEARING	A48 CL.40	FC300	1	13 SPLITTER SERIES	A276 420	SUS420J1	14
652-15 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-8 END COVER-THRUST BEARING	A48 CL.40	FC300	1	9-3 STAGE PIECE-BALANCE SLEEVE	A743 CA40		1
652-16 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-9 LOCATING RING-SHAFT	A243 60	53400	1	9-2 STAGE PIECE-CENTER-SPLIT	A743 CA40		1
652-17 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-10 SPLIS RING	A276 420	SUS420J1	10	8 STAGE PIECE-SERIES	A743 CA40		8
652-18 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-11 LOCK NUT-COUPLING	A576 1035	53SC	1	M-1 MECHANICAL SEAL	A576 1035	53SC	1
652-19 O-RING-STAGE PIECE-SPLITTER	A576 1045	53SC	1	654-12 LOCK NUT-COUPLING	A576 1035	53SC	1				

1400 MTPD UREA PLANT  
P.T. PETROKIMIA GRESIK  
TOYO ENGINEERING CORPORATION  
TBC JOB NO. BA-0184  
REV. 2  
PROJECT DOC NO. 05002-6A/01AB-230

PROJECT NAME	BA-0184
PKG PROJECT	05002
SERVICE	GA 101 AB
AMMONIA FEED PUMP	TOYO ENGINEERING CORP.
REV. 2	P.T. PETROKIMIA GRESIK
DATE	1980.11.15
BY	...
CHECKED	...
APPROVED	...

JIS-MATERIAL WILL BE USED FOR PARTS EXCEPT MARKED X

CROSS SECTIONAL  
DRAWING  
E8A8A  
P17930-01-905





DEPARTEMEN INSPEKSI TEKNIK  
INSPEKSI TEKNIK KHUSUS  
LAPORAN/ANALISA VIBRASI

Mek. II/3

- y. Diakses & diidentifikasi
- Lakukan check internal & re-alignment
- Gantikan spare-part & rotor bila ada yg anti-rotate unbalance akibat lost material

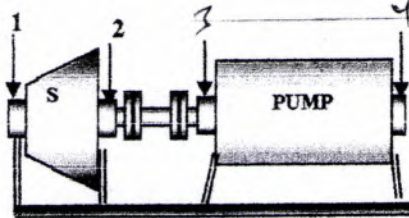
M-38-4204

www.crasia.net

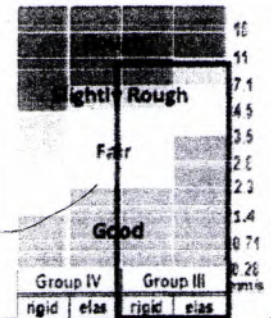
IGH

MACHINE DATA

Area	: Utilitas
Equip. ID	: GA101A NH3 Feed Pump
Daya	: - KW
Kelas Vib.	: 1 ISO-10816-3 Rigid
Putaran	: 6300 RPM
Bearing	: Journal Bearing Outboard
Driver	: Journal Bearing Inboard
Bearing	: Journal Bearing Inboard
Driven	



VIBRATION CHART  
ISO-10816-3 RIGID

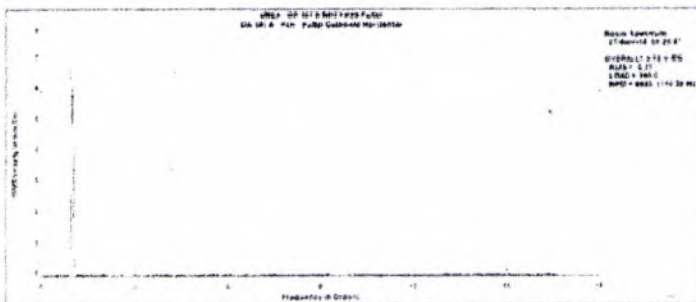


Jenis Pengukuran : Permintaan pengukuran  
Problem : Vibrasi tinggi di outboard pompa  
Analisa Penyebab : Misalignment dan indikasi unbalance  
Rekomendasi : Realignment dan balancing shop jika diperlukan

VIBRASI OVERALL

MOTOR			PUMP					
	Vel	g's		Vel	g's			
M1H	3.11		P3H	3.63				
M1V	2.24	-	P3V	0.78	-			
M1A	3.42		P3A	0.90				
M2H	0.99		P4H	6.77				
M2V	5.82	-	P4V	2.54	-			
M2A	2.62		P4A	1.71				

VIBRASI SPEKTRUM



Spektrum point P4H pada tanggal 27 Nov 2015 menunjukkan indikasi unbalance



Spektrum point T2Y pada tanggal 27 Nov 2015 menunjukkan indikasi misalignment

ANALISA

- \* Nilai vibrasi pada point 2 (T2Y) & point 4 (P4H) melebihi batas yang diizinkan
- \* Nilai vibrasi dominan pada point 2 & 4 dengan spektrum utama 1X
- \* Phase antar equipment menunjukkan perbedaan phase hingga mencapai 110° (horisontal) dan 140° (vertikal)
- \* Indikasi menunjukkan terjadinya misalignment pada peralatan dan kemungkinan terjadi unbalance pada rotor/shaft pompa sehingga menyebabkan nilai vibrasi tinggi.
- \* Trend putaran peralatan menunjukkan kenaikan rpm operasional hingga 6600, dibanding design rpm yg hanya 6300 dan operasional bulan sebelumnya 6500. Hal ini berarti operasional pompa mengalami perubahan yang bisa menaikkan nilai vibrasi.

REKOMENDASI

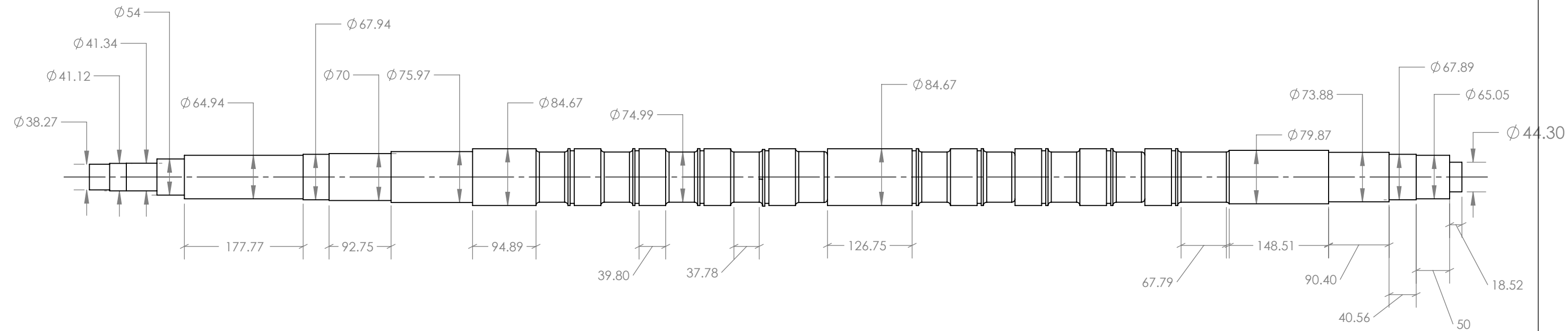
- Lakukan realignment pada peralatan ✓
- Lakukan penggantian rotor/shaft pompa atau lakukan balancing shop pada shaft yang ada
- Sesuaikan putaran operasionalnya
- Continuous monitoring

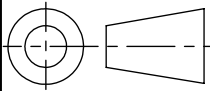
Pts. MANAGER INSPEKSI TEKNIK

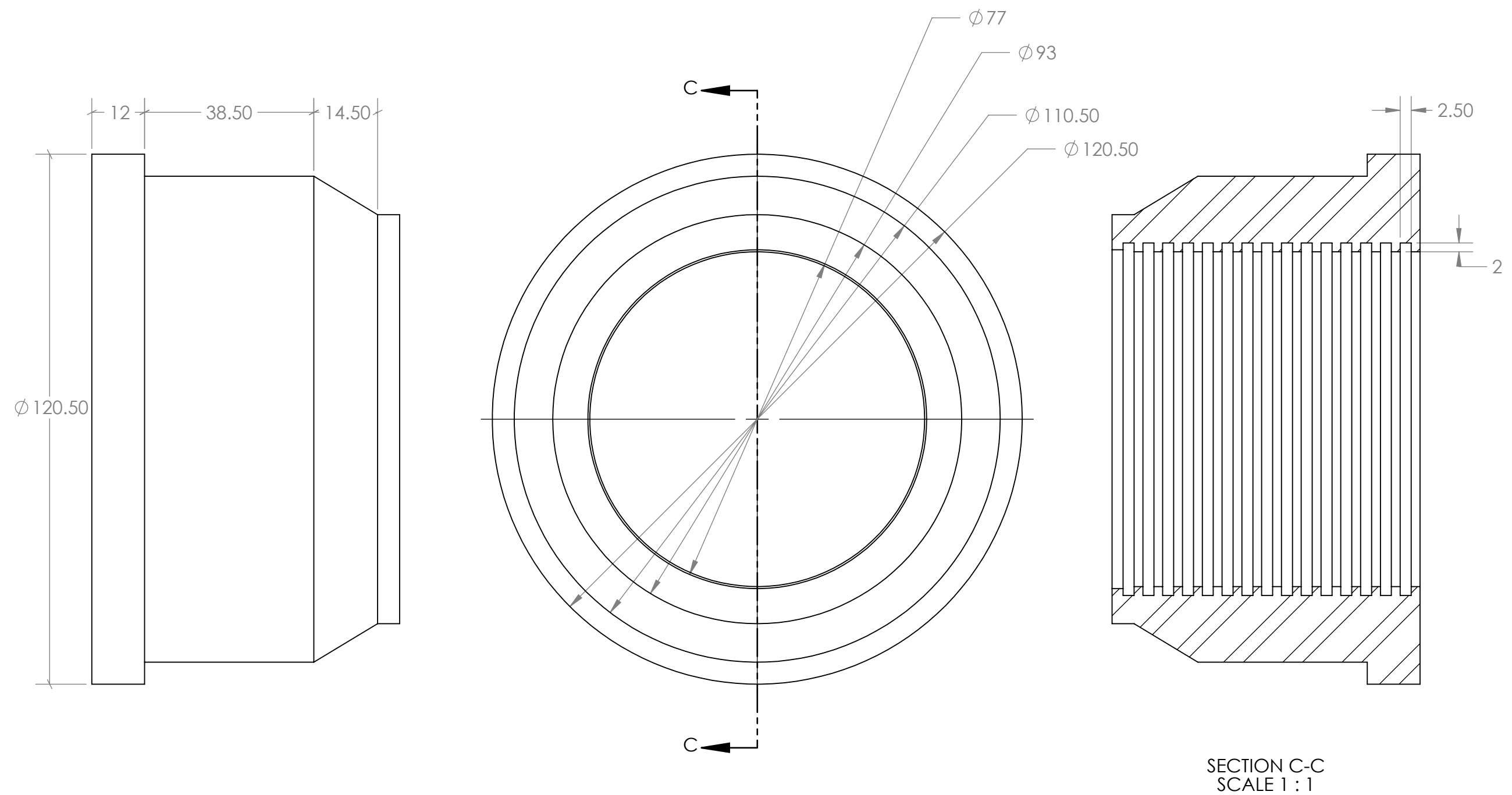
R. M. Istiadil P. ST

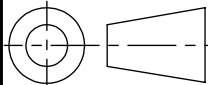
Distribusi :

1. Manager Prod. I
2. Kabag Mekanik I
3. Kabag Candal Har. I
4. Kabag Sipil I
5. Kahan I listrik I
6. Kabag Prod. I (Utl.)
7. Kabag TA & Relia. I
8. Staf Isteksus
9. Simpanan

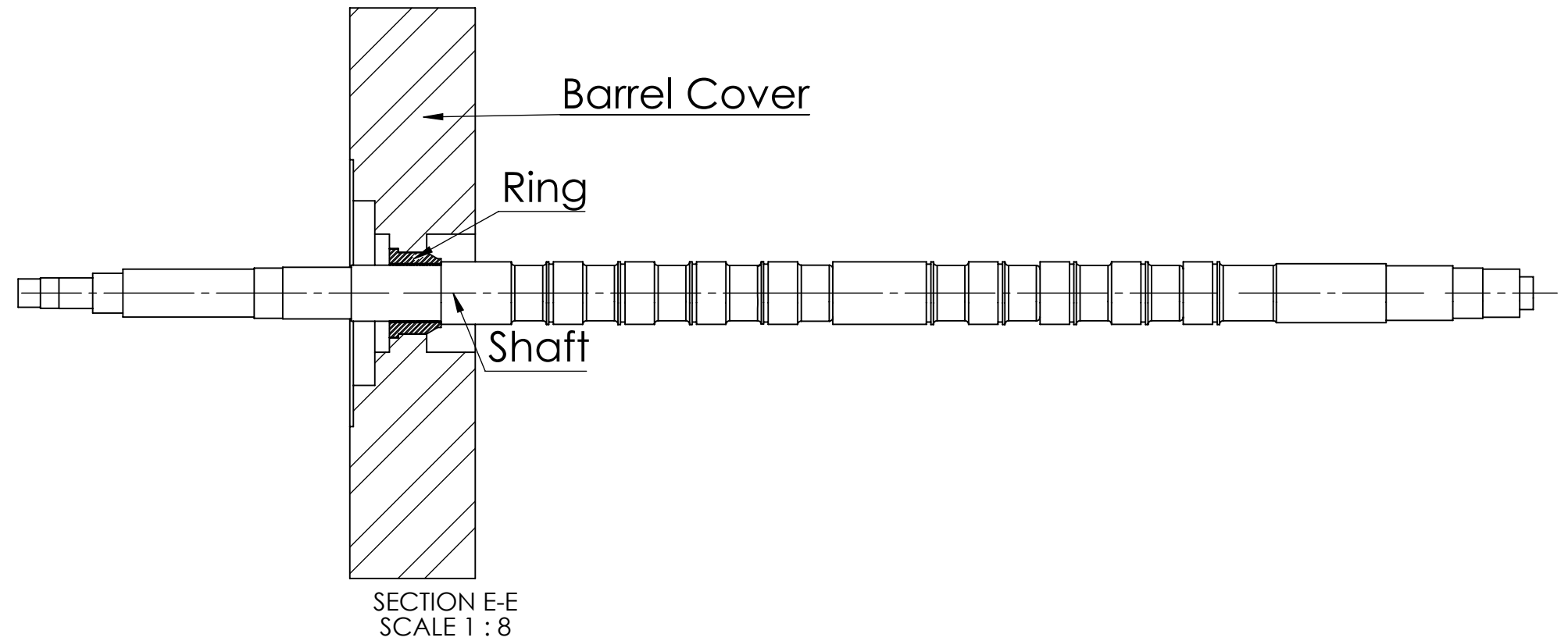
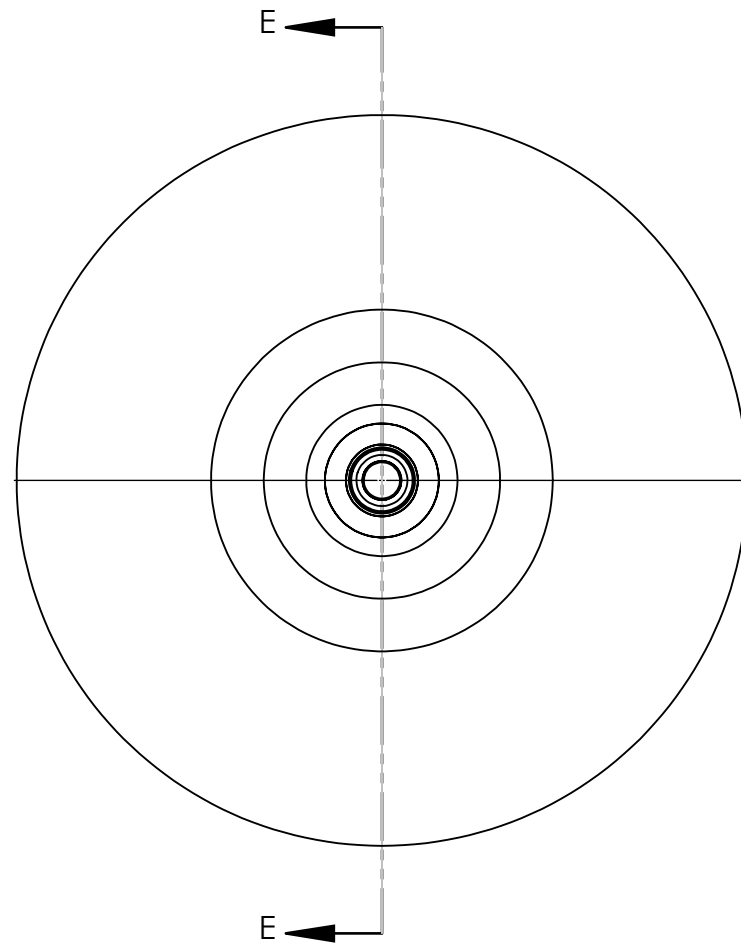


1						
No.	Jumlah	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	PERINGATAN	
KEKASARAN PER-MUKAAN DLM:		TOLERANSI UKURAN DLM : mm			TOLERANSI BENTUK DAN POSISI MENURUT :	
		SKALA : 1 : 6	DIGAMBAR : ANGGA SETIAWAN		PERINGATAN	
		SATUAN : mm	DEPT : SISTEM INDUSTRI			
		TANGGAL : 15/07/2016	DILIHAT : Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc			
Teknik Mesin FTI-ITS		Poros Pompa GA101A			1	A4



1					
No.	Jumlah	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	PERINGATAN
KEKASARAN PER-MUKAAN DLM:		TOLERANSI UKURAN DLM : mm			TOLERANSI BENTUK DAN POSISI MENURUT :
	SKALA : 1 : 1		DIGAMBAR : ANGGA SETIAWAN		PERINGATAN
	SATUAN : mm		DEPT : SISTEM INDUSTRI		
	TANGGAL : 15/07/2016		DILIHAT : Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc		
Teknik Mesin FTI-ITS		Ring Pompa GA101A			2 A4





1						
No.	Jumlah	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	PERINGATAN	
KEKASARAN PER-MUKAAN DLM:		TOLERANSI UKURAN DLM : mm			TOLERANSI BENTUK DAN POSISI MENURUT :	
	SKALA : 1 : 8		DIGAMBAR : ANGGA SETIAWAN		PERINGATAN	
	SATUAN : mm		DEPT : SISTEM INDUSTRI			
	TANGGAL : 15/07/2016		DILIHAT : Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc			
Teknik Mesin FTI-ITS		Assembly Ring-Poros-Cover Pompa			3	A4

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggantian jenis material ring, dari *stainless steel* 410 menjadi 304, menjadi salah satu faktor penyebab patahnya poros, karena jika ditinjau dari thermal expansion material, stainless steel 304 memiliki thermal expansion lebih tinggi daripada 410.
2. Vibrasi yang terdeteksi pada pompa merupakan akibat dari massa *unbalance* pada sudu-sudu pompa (*impeller*), karena setelah dilakukan *modal analysis* pada poros, antara frekuensi beban yang diberikan dengan frekuensi natural poros masih dalam kategori aman.
3. Vibrasi yang terdeteksi pada pompa menyebabkan komponen poros dan ring saling bergesekan, sehingga temperatur di sekitar komponen tersebut meningkat drastis. Dari hasil pengamatan, terlihat adanya spektrum warna disekitar patahan, yang merupakan indikasi terjadinya temperature berlebih. Mengacu pada Kelvin Temperature chart, temperatur pada area patahan dapat mencapai kisaran 1200-2700°C
4. Berdasarkan simulasi, solusi yang dapat dilakukan adalah memodifikasi *clearance* ring dan poros, dengan minimal besarnya adalah 0.40 mm dengan material 304 yang ada, sedangkan apabila menggunakan material 410, maka minimal *clearance* ring-poros yang dibutuhkan adalah sebesar 0.35 mm.

## 5.2 Saran

Agar diperoleh suatu sistem yang lebih baik, maka saran yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencatatan histori kerusakan pada equipment termasuk pompa dilakukan lebih detil dan dilengkapi dengan kronologis.
2. Sebaiknya jika pompa terdeteksi vibrasi yang tinggi, maka disarankan untuk menghentikan kerja pompa dan mengoperasikan pompa *spare*.
3. Balancing dilakukan setelah impeller terpasang, karena memiliki potensi penyebab unbalance pada pompa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akuan, Abrianto. 2007. *Diktat Kuliah Kelelahan Logam*. Jurusan Teknik Metalurgi. Universitas Jenderal Achmad Yani Bandung.
- [2] ASM Handbook Committee. 2002, *ASM Metals Handbook Vol. 11: Failure Analysis and Prevention*. Ohio, USA: ASM International.
- [3] ASM Handbook Committee. 2002, *ASM Metals Handbook Vol. 19: Fatigue and Fracture*. Ohio, USA: ASM International.
- [4] Bachche, Pramod J. dan Tayade, R.M. 2013. *“Finite Element Analysis of Shaft of Centrifugal Pump”*, Mechanical Dept. V.J.T.I Mumbai India.
- [5] Berndt, F. and Bennekom, A. Van., 2001. *“Pump Shaft failures – A Compendium of Case Studies”*, Engineering Failure Analysis 8 (2001) 135-144
- [6] Budynass-Nisbet, *“Shigley’s Mechanical Engineering Design Eighth Edition”*, McGraw-Hill
- [7] Nurhadyan, Galih. 2011. *“Analisa Kegagalan Shaft Stainless Steel 17-4 Ph Pada Pompa Sentrifugal 107-Jc Di Pabrik 1 Plant Ammonia PT. Petrokimia Gresik”*, Teknik Material Metalurgi-ITS Surabaya
- [8] Putra, Nugraha Udiana. 2013. *“Analisa Kerusakan Wobbler Bar Pada Proses Pengumpanan Batu Kapur PT. Semen Gresik Unit 1 Tuban”*. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya.
- [9] Sachs, N. W. 2005. *“Understanding the Surface Features of Fatigue Fractures: How They Describe the Failure Cause and the Failure History”*. Journal of Failure Analysis and Prevention. ASM International.
- [10] Kelvin Temperature Chart.  
[www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Kelvin\\_Temperature\\_Chart.svg](http://www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Kelvin_Temperature_Chart.svg) (diakses pada tanggal 27 Juli 2016)

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung, 28 April 1993, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal hingga tahap diploma pada D3 Teknik Mesin FTI-ITS bidang konversi energi dengan IPK 3.50. Pada tahun 2014 Penulis diterima di Program Studi S1 Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2114 105

018. Saat ini, penulis berkonsentrasi dalam bidang system industri dan juga merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan untuk menunjang softskill. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Pelatihan LKMM Pra TD, Pelatihan LKMM TD, Pelatihan Jurnalistik Dasar, dan LOT I BEM FTI. Organisasi yang pernah diikuti penulis adalah Staff Departemen Kewirausahaan BEM FTI 2012-2013, Ketua Departement Humas HMDM 2013-2014. Penulis juga pernah melaksanakan kerja Praktek di PT. Petrowidada - Gresik selama satu bulan pada 01 Juli s/d 01 Agustus 2013 di *Maintenance Departement*. Penulis dapat dihubungi melalui email [anggasetiawan5@gmail.com](mailto:anggasetiawan5@gmail.com)